Public Works Canada
Travaux publics Canada

Architectural and Engineering Services
Services d'architecture et de génie

Building Performance Evaluation Series

Retrofit Evaluation: Energy Performance

Document D07

Canada

Building Performance Evaluation Series

Retrofit Evaluation: Energy Performance

Document D07

AES 1-4:86-27

March 1988

The contents of this document represent the views of the authors and are not necessarily the views or policies of the Department of Public Works.

The Minister of Public Works makes no representation or warranty, express or implied, with respect to this publication or the programs or information described in this publication, their quality, merchantability, or fitness for any particular purpose, or their adequacy to produce any particular result. In no event shall the Minister or Her Majesty the Queen in right of Canada, Her employees, servants or agents be legally liable to any person or persons for any damage, whether direct, indirect or consequential, resulting from the use of said publication or the programs or the information contained therein.

Published by Architectural and Engineering Services
Public Works Canada

Public Works Canada / Travaux publics Canada

DOCUMENT DATA

1. Document Title RETROFIT EVALUATION: ENERGY PERFORMANCE	2. Control Number AES/SAG 1-4:86-27
	3. Date March 1988
4. Author(s) Leslie Jones & Associates	5. Consultant's Ref. No.
6. Project Manager	7. Discipline Series No. DO7
8. Preparation Agency and Address Building Performance Division, Public Works Canada Room C-456, Sir Charles Tupper Building Riverside Drive, Ottawa, Ontario, K1A 0M2 Telephone: (613) 998-7830	9. Document Type Guideline
	10. No. of Pages 31
11. Sponsoring Agency and Address D.C. and R.T. Appropriated Programs Accommodation Branch	12. PWC File No. A4270-16
	13. PWC Project No. 602055
14. Supplementary Notes Questions and comments should be directed to the preparation agency, in 8 above.	15. SSC Publication No.
	16. ISBN

17. Abstract

Defining a logical and cost effective plan for retrofitting contributes significantly to the overall energy effectiveness evaluation when modifying buildings' physical characteristics. The retrofit process is concerned with the following stages: calculating 'direct' and 'indirect' energy savings; estimating capital cost; analyzing the cost benefit; evaluating the possible impact of retrofit on the performance of other building components and systems. This is done by providing a catalogue of interactions between building systems.

This document describes the methods of analysis and the techniques involved at three stages of evaluation. Knowledge of the differences and limitations of the basic calculation methods is considered, including the level of detail, the sensitivity and accuracy of the methods available. This evaluation can be made using hand calculation techniques and computer models to predict the building components energy consumption.

18. Distribution Statement Copies are available from: Documentation Centre Architectural & Engineering Services Public Works Canada Sir Charles Tupper Bldg., Riverside Dr. Ottawa, Ontario K1A 0M2	19. Keywords	
	20. Documentation Centre Catalogue No. BP DO7	21. Price

DPW 2398 (86/09)

TABLE OF CONTENTS

	PREFACE	*vii*
1.	**INTRODUCTION**	*1*
1.1	Purpose and Objectives	1
1.2	Background Information	1
2.	**TERMS OF REFERENCE**	*6*
2.1	General Framework	*6*
2.1.1	The Calculation of "Direct" and "Indirect" Energy Savings	*6*
2.1.2	The Calculation of Capital Costs	*7*
2.1.3	Cost Benefit Analysis	*7*
2.1.3.1	Sequence of Retrofitting	*7*
2.1.3.2	Retrofit Longevity and Maintenance Costs	*7*
2.1.4	The Impact of Retrofit Action on the Performance of Other Building Components and Systems	*8*
2.2	Limitations of the Evaluation Technique	*8*
3.	**METHODOLOGY**	*9*
3.1	Stage I – Preliminary Assessment (Introduction)	*9*
3.2	Stage II – Simple Measurement Techniques	*9*
3.2.1	Description of Techniques	*9*
3.2.2	Equipment	*9*
3.2.3	Detailed Procedure	*9*
3.2.4	Resource Allocation and Timing	*10*
3.2.5	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	*10*
3.3	Stage III – Specialized In-Depth Monitoring	*10*
3.3.1	Description of Techniques	*10*
3.3.2	Equipment	*10*
3.3.3	Detailed Procedure	*11*
3.3.4	Resource Allocation and Timing	*11*
3.3.5	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	*11*
4.	**REFERENCES**	*12*
5.	**APPENDICES**	*13*
5.1	Standard Terms and Units of Measurement	*13*
5.2	Applicable Authorities and Regulations	*13*

5.3	Catalogue of Interactions Between Buildings Systems	13
5.3.1	Introduction	13
5.3.2	Effects of Load Changes on Sub-system Performance	13
5.3.3	Effects of Changes of Environmental Quality	15
5.3.3.1	Introduction	15
5.3.3.2	Thermal Environment	15
5.3.3.3	Air Quality	15
5.3.3.4	Visual Quality	16
5.3.3.5	Aural Quality	16
5.3.4	Effects of Changes to the Building Envelope	17
5.3.4.1	Introduction	17
5.3.4.2	Envelope	17
5.3.5	Effects of Changes of Mechanical System Components	18
5.3.5.1	Introduction	18
5.3.5.2	Central Heating Plant	19
5.3.5.3	Central Cooling Plant	19
5.3.5.4	Pipework Systems	19
5.3.5.5	Ductwork Systems	20
5.3.5.6	HVAC Systems and Controls	21
5.3.5.6	Domestic Hot Water	22
5.3.6	Effects of Changes of Electrical System Components	24
5.3.6.1	Introduction	24
5.3.6.2	Lighting Systems	24
5.3.6.3	Other	24
5.4	Catalogue of Economic Indicators	28
5.4.1	Simple Payback	28
5.4.2	Payback Factor	28
5.4.3	Discounted Payback Time	28
5.4.4	Present Value	29
5.4.5	Internal Rate of Return (IRR)	29
5.5	Building Performance Evaluation Document List	31

LIST OF TABLES

1.2.1	Some Current Modeling Weaknesses	5
5.3.1	Effect of Oversizing of Equipment and Systems	25

PREFACE

RETROFIT evaluation is concerned with the estimation of the potential energy savings, capital cost and life cycle costs associated with any proposed retrofit action; i.e. any proposed physical changes to the building. This document describes in general terms how this evaluation can be approached using hand calculation techniques and computer models.

The process also addresses the impact of any proposed retrofit on the overall building performance by providing a catalogue of interactions between building systems.

RETROFIT Evaluation is the last stage of the energy effectiveness evaluation process and the reader is referred to preceding steps described in 'GLOBAL', 'COMPONENT' and 'EQUIPMENT & SYSTEMS' evaluation documents. Reference is made in these documents to analysis techniques which are more fully described herein.

1. INTRODUCTION

1.1 PURPOSE AND OBJECTIVES

The purpose of RETROFIT Evaluation is to assess the impact of any proposed change (RETROFIT) on the performance of the building. This evaluation must address changes to the operating cost directly associated with the change and any indirect effects created in other areas or systems by the retrofit. These indirect effects may have energy, comfort or other performance implications. With capital cost estimates and life cycle costing techniques, this evaluation meets the desired objective of defining a logical and cost effective plan for retrofitting.

1.2 BACKGROUND INFORMATION

The major effort involved in RETROFIT Evaluation will be estimating energy savings associated with particular retrofit actions. Consequently, some knowledge of the differences and inherent limitations of the basic calculation methods is considered valuable. The level of detail, sensitivity and accuracy of the range of methods available varies greatly. While the most complicated models are always computer methods, even the most simple calculation methods have been computerized and it should not automatically be assumed that a computer method is necessarily more accurate than a manual calculation method.

The simplest and oldest method for predicting energy use is the degree day method. Although it can be relied upon to provide reasonable predictions of energy in certain applications it is not, in its simplest form, suitable for the evaluation of a range of possible retrofit actions.

Many attempts have been, and still are being made to remove the basic degree day methods limitations; i.e. its sensitivity to the single parameter, overall heat loss. Because of its inherent simplicity the degree day method or its derivatives are still popular with many designers. Early attempts to expand the method include correction factors to account for intermittent heating, building mass and alternate ratios of space gains to envelope loss – this last item being handled by using degree day calculated to different base temperatures.

A number of techniques have appeared in recent years aimed at providing a simple hand calculation method capable of accommodating a larger range of factors than can be accommodated in the basic degree day methods. Most of these methodologies are based on the results of a large number of detailed hour-by-hour simulations, representing a range of various design strategies "correlated" or "represented" by some simple relationship or set of relationships. Many of these methods, which are sometimes referred to as correlation methods or models, rely upon degree day type of calculations for the envelope and ventilation heat loss components of the energy balance with the correlation or empirical relationship accommodating other factors such as solar gains.

A good example of such a technique is the method developed by Sander and Barakat (References 3 and 4) known as the "Solar Utilization Method". In this method, which

need only be carried out on an annual basis, the useful solar contribution is correlated to two parameters the ratio of the solar gain to heating load and the ratio of solar gain to building interior mass. The "non solar" portion of the calculation is carried out using the average heating season inside to outside temperature difference, and the number of heating season hours with an allowance made for any heating contributions from internal heat gains. Calculations may also be carried out on a monthly basis if so required and this procedure is in fact the basis of thermal calculations used in the programs HOTCAN and CMHC2.

A significant drawback to the above "advanced manual techniques" is their limitation to a restricted number of design combinations. This is a practical restriction rather than a theoretical one since to cover all possible design combinations with a high degree of sensitivity would demand inordinate volumes of look-up tables. To improve the sensitivity and scope of the analysis method, it is necessary to move away from pre-solved solutions to more generalized "bin methods" and "detailed simulation models". Such methods rely on the analyst to "build" a mathematical model of the proposed design. The model may be "built" manually or using computer modelling techniques.

The principal of all bin types analysis methods is the analysis of the building, systems or equipment as a series of separate individual calculations or models, each calculation or model representing a different set of conditions. The models are based on the average condition over each of the separately identified operating conditions.

If the method is to be applied manually, the definition of these models must be detailed enough to distinguish between significantly different operating conditions, yet be of a manageable number to make hand calculations practicable. (As the extreme illustration, an hour by hand analysis could be thought of as a bin method with 8,760 separate bins or models; in this case the question of hand calculation is obviously unrealistic.)

The separate models can be set up on the basis of a number of different bin types, the bins describing differences in:

1) Outdoor dry bulb temperatures
2) Outdoor wet bulb temperatures
3) Occupancy
4) Part load occupancy efficiency
5) Solar gains

For the simple cases the actual energy consumption is calculated by summing the products of the average load and the number of operating hours in each of the various bins.

Further, the results of one series of calculations, say calculating space heating loads on the basis of outdoor dry bulb temperature bins and occupancy could be organized into bins of hours for various load ranges which could then be used for the purposes of estimating boiler fuel consumption.

There are many other ways of identifying significantly different operating conditions that might exist, especially in complex HVAC systems and the calculation methods can become quite involved; e.g. "The Modified Bin Method" (Reference 1) and a modified bin method (Reference 2) for heat pump application.

Detailed simulation models generally offer the most varied analysis possibilities and may be either a mathematical model or an analogue model.

Analogue methods make use of the analogy between flow of electricity and the flow of heat. Because of the time and complexity involved in developing the hardware network representing the building (which may take several weeks) these methods are usually restricted to research environments.

Mathematical models are often classified according to the analytical method used, and here there are two basic operations.

The inherently more rigorous and generalized approach is the finite difference method or "detailed numerical solution" or "heat balance method" as it is variously referred to. In simple terms it can be thought of as the mathematical equivalent of the analogue method: the building being represented by a network of nodes connected to each other, as in the case of the building fabric, by thermal resistances partitioned by lumps of thermal capacitance.

The main drawback with such methods, although this is becoming less significant with increasing computer power, is the computation time (and cost) necessary for the mathematical solution. This computation time increases rapidly with increasing complexity of the model since there are more equations to solve. Finite difference models are, for instance, generally considered the preferred route for passive solar design analysis. In an attempt to fit such models on small computers and/or limit computation costs, many finite difference models can be somewhat restricted in their applicability. For example, they may be limited to the analysis of a single thermal zone or they may exclude heating and cooling systems and equipment simulation.

Such limitations may outweigh any potential benefit they may have had over the alternative Response or Weighting Factor method. (References 5 and 6) This method avoids having to solve heat balance equations by using a pre-derived response of a building component; e.g. a wall, or a complete room, to thermal disturbances such as heat losses and solar gains. These pre-derived responses, response factors:, may be found experimentally, which would of course limit the methods applicability to configurations similar to the experimental set-up, or they can be calculated. This calculation can be done external to the analysis tool for a range of typical building components and spaces, these "pre-calculated response factors" can then be built into the analysis tool.

In order to extend the range of applicability to non-typical or non-traditional building design, these responses can be calculated for each unique building configuration prior to carrying out the hourly analysis. Such a technique has been tagged as the "custom weighting factor method" (Reference 7) and is, for instance, an option in the U.S. public domain program DOE2.1B and C. A practical limitation of such methods,

however, is that changes to the properties of the layers or spaces cannot be made without recalculating the response or weighting factor; i.e. the method is limited to linear relationships and therefore cannot, for instance, treat longwave radiation exchanges or changing sunlight patterns in a room in a rigorous manner without having to recalculate the response factors.

Again it is very important not to assume that finite difference methods are more accurately or more widely applicable than response factor methods since both are only mathematical techniques. One must look further into how explicit the actual model is – for instance, one could set up a very simple finite difference model that, to take an extreme example, ignored building mass and which would be quite inadequate for predicting system responses to changing solar and internal gains.

Regardless of the mathematical basis of the model, all current software can be expected to have some modelling weaknesses. Modelling weaknesses occur for many reasons such as:

i) a more rigorous solution would require a larger computer or unacceptable computation time or costs.
ii) the rigorous solution would make software difficult to use; i.e. not commensurate with the accepted level of design or analysis effort.
iii) a simple solution can be accepted as adequate over a specific and restricted range of planned use of the software. This is often dangerous as program authors rarely highlight these restrictions while designers by nature are prone to use software in ways that the program authors never imagined.
iv) the lack of commonly accepted, tested or adequate theoretical basis for modelling certain physical phenomenon.
v) the lack of control over the construction and ultimate use of the building rendering assumptions made during the design stage potentially very different from those that might be experienced in reality.
vi) the lack of suitable weather data.
vii) poor design of the software.

When looking at software one should not be too critical of those programs that do not reflect all the sophistications that our current collective modelling expertise would allow. Indeed such a program should it exist would currently be likely to be too complex and time consuming for all but a few dedicated experts to use. One would expect, however, that the gap between program accuracy and ease of use should narrow with improved algorithms, computer hardware and programming techniques.

The potential user of software should be on the lookout for:

i) poor software design, for example, the use of outdated algorithms and methods where more accurate and/or simpler methods are available.
ii) conscious omissions, i.e. where the program designer has had quite specific ideas on the use of the software. Do not choose software intending to use it outside of the scope for which it was constructed.
iii) claims of accuracy in those areas where accuracy is limited by current knowledge or practical constraints – a brief description of which are given in Table 1.2.1.

Modelling of Absorbed Solar Radiation, Longwave Radiation and Daylight Interchanges in an Interior Space

Most methods avoid rigorous geometric modelling of the continuous variation of the sunlit surface and detailed modelling of radiant and convective exchanges within the space. The current lack of monitored solar data in direct and diffuse components and by wavelength, contributes to modelling weakness.

Modelling of Air Infiltration

Most models currently lag the state of the art as far as infiltration modelling is concerned. Certain practical considerations such as the problems of obtaining specific local wind data, the constant fluctuation of wind speed and direction in time steps considerably shorter than 1 hour and the problem of being able to accurately predict construction air leakage performance will understandably limit modelling accuracy in this area.

Modelling of Zone to Zone Coupling

The prediction of naturally induced air movement, by thermal differences and infiltration paths, is a theoretically neglected part of modelling and one which should be capable of being improved substantially over its total current lack of consideration. Also solar energy passing through one zone into another is not normally addressed in a rigorous manner.

Heat Loss to Grade

Modelling is less than ideal in most current software and generally lags scientific knowledge. The uncertainty of soil conditions, particularly the presence of water in and around the proposed building site will, however, ultimately affect the absolute accuracy of any energy prediction.

Multi-dimensional Heat Flow

This is becoming increasingly important as superinsulation levels are adopted. The problem is often ignored or the user must rely on external hand calculations.

System Simulation

Many recent innovations in system design in the areas of HVAC and lighting and the ability to try new types of systems and methods of control are lacking.

User Effects

The prediction of occupant reactions and use of the building and its energy consuming systems is an area that has received limited study. Factors that are as yet generally unpredictable include such aspects as occupant use of lighting, shading devices and operable windows.

Table 1.2.1 Some Current Modeling Weaknesses

2. TERMS OF REFERENCE

2.1 GENERAL FRAMEWORK

The process of RETROFIT Evaluation involves:

1) the calculation of "direct" and "indirect" energy savings associated with a retrofit;
2) the estimation of capital costs;
3) a cost benefit analysis; and
4) an evaluation of the possible impact of the retrofit on the performance of other building components and systems.

2.1.1 The Calculation of "Direct" and "Indirect" Energy Savings

In the interests of economy it is generally desirable to make calculations of energy savings with as low a level of detail and effort as is consistent with the actual costs of the retrofit and required accuracy.

The actual cost of carrying out the calculation must obviously be much less than the actual cost of the retrofit, otherwise it makes more sense to go ahead with the retrofit without the analysis. One should of course have some reasonable expectation of benefit from the proposed change. In simple terms, for example, there is little point in spending 1/2 day estimating the savings resulting from the installation of a $50 time clock.

Rules of thumb and very simple estimating methods might also be reasonably applied to low cost, typically short payback items where inaccuracy in the estimations are not likely to seriously compromise the appropriateness of carrying out the work. For instance if a particular retrofit is estimated as having a six month "payback", the consequences of having overestimated its benefit by 100%; (i.e. its true payback would be 1 year) cannot, for most situations, be considered to undermine the decision to go ahead with the work.

When large capital costs are involved or marginal economic benefit are expected, it is obviously necessary to carefully carry out estimates of energy savings, though "careful need not mean detailed computer models of the complete building. In carrying out such calculations it is important to consider the effects of both "direct" and "indirect" energy changes and the effects of the energy changes resulting from combinations of retrofits which in most cases tend to be less then the sum of the energy changes resulting from the individual retrofits carried out independently.

The "DIRECT EFFECT" is the actual effect observed in the piece of equipment being changed. E.g. the change in electrical energy consumption of a lighting fixture after delamping.

The "INDIRECT EFFECT" is concerned with the effect of the change on other equipment; i.e. not the equipment directly involved in the retrofit. To continue the above example, the "indirect effect" of delamping might be increased use of heating and a reduction of cooling energy. This indirect effect might be observed in the same fuel source or in a different fuel source.

The calculation of "indirect effects" is inevitably more difficult and approximate in nature than the calculation of "direct effects". Detailed hourly computer models, which can account for interactions in a more precise manner, are often desirable.

The use of computer as opposed to manual methods, can further be justified where a large number of retrofits are to be evaluated, particularly if these are to be evaluated in different combinations or in alternative sequences (see 2.1.3.1 below). Such analyses are almost always necessary where major changes, such as system replacement, are being considered.

2.1.2 The Calculation of Capital Costs

Normal estimating techniques can be used to calculate the capital costs of proposed changes.

2.1.3 Cost Benefit Analysis

Any one of a number of standard economic criteria such as "simple payback" and "Internal Rate of Return" can be calculated for the individual retrofits and combinations of retrofits and used as a basis for judging their cost benefit. (A discussion of these economic criteria is presented in section 5.4.)

When carrying out these calculations, however, a number of important aspects as described below should be considered.

2.1.3.1 Sequence of Retrofitting

The actual sequence of retrofitting can be viewed from a number of perspectives. Clearly it makes sense to implement immediately all minimal cost items such as operations and minor maintenance work. Beyond this, however, the building owner has a choice of options for implementation which might be influenced by the availability of retrofit funds and planned maintenance and refurbishment activities, i.e.:

i) To sequence the retrofits to effect changes, in the following order: loads, terminal equipment, distribution systems, and lastly, central plant. This is logical in the sense that, for example, any boiler derating should only be carried out once when all other loads have been minimized.

ii) To implement in the order of ascending payback, capital costs, or "payback factor" (see section 5.4).

iii) To use retained savings from energy reductions for funding capital works.

iv) To combine energy retrofitting with other maintenance or refurnishment activities. For example, it is hard to justify roof insulation where this would require removal of the roofing material; however, coupling insulation with needed roof replacement can make this ECO a high energy saver because of the small incremental cost of the added insulation.

2.1.3.2 Retrofit Longevity and Maintenance Costs

The lifetime and maintenance costs of a Retrofit have a bearing on the cost effectiveness of a particular Retrofit. Obviously two retrofits of equal capital cost and payback are not equal investments if one has a longer expected life and/or lower maintenance cost than that of other.

2.1.4 The Impact of Retrofit Action on The Performance of Other Building Components and Systems

A building can be considered as a very complex machine and disturbing one part of this machine invariably causes some kind of disturbance somewhere else in the machine. This disturbance may be beneficial and can be considered a "side benefit" of the change or may be detrimental to the use, control or integrity of the building i.e. an "adverse effect". Often this disturbance is not expected especially where new techniques or materials are being employed or where the proposed change has not had the benefit of being reviewed by a multidisciplinary team.

Ideally each proposed retrofit should be reviewed by all members of the Building Performance Evaluation team in order to determine its overall effect. Where this is not possible and also to serve as a checklist for such a multidisciplinary review, section 5.3 provides a catalogue of such interactions.

2.2 LIMITATIONS OF THE EVALUATION TECHNIQUE(S)

The accuracy of the RETROFIT evaluation is primarily related to the amount of the time invested in the actual evaluation. As previously discussed where the economic benefit is clearly very good, one can minimise the amount of time taken in the evaluation. Where particular evaluations are difficult, perhaps because of the lack of modelling capabilities or the uncertainty associated with the performance with a new piece of equipment, there will obviously be some uncertainty as to the accuracy of the predictions. In such circumstances, the same kind of approaches can be taken as might be used to assess the economic risk of other type of investments.

3. METHODOLOGY

3.1 STAGE I - PRELIMINARY ASSESSMENT (INTRODUCTION)

The type of information required will vary greatly depending on the retrofit to be evaluated and the specific analysis method(s) used.

The information may have been recorded and summarized during previous evaluation stages (GLOBAL, COMPONENT and EQUIPMENT & SYSTEM Evaluations). Often though it will be necessary to go back and obtain the additional information through one or more of these techniques such as plan and archive review, walkthroughs or questionnaires.

3.2 STAGE II - SIMPLE MEASUREMENT TECHNIQUES

3.2.1 Description of Techniques

Simple analysis techniques can be classified as those techniques that can be reasonably carried out manually. This in many ways is quite an arbitrary classification and the fact that a method is capable of being manipulated manually does not necessarily mean that it is simpler to use than a computer method. Another classification of a simpler to use technique is one that addresses only a single energy flow; i.e. it is only a partial model of the building and as such does not directly address interactions. With such 'simple methods' interactions would have to be separately calculated using another partial model (simple technique).

For most practical purposes for energy auditing, these two ways of classifying simple analysis techniques run somewhat parallel and for the basis of this discussion simple techniques are taken to mean analysis methods that do not address the total building energy flows in all their complexities in a single technique and which are generally manual methods.

The remaining text is restricted to a discussion of the analysis of energy savings.

3.2.2 Equipment

No special equipment is required.

3.2.3 Detailed Procedure

There is such a wide range of possible techniques ranging from the very simple to rather detailed that it is not possible to cover them in a document such as this. Reference must be made to standard engineering works such as ASHRAE handbooks or to those references given at the end of this document (specifically References 8 to 11).

In general, however, there are two main approaches, one is to calculate the energy savings as the difference in energy consumption between the current mode of operation and the proposed mode; the other being to calculate the energy saving directly.

For the first case, it is necessary to set up a simple model of the current situation and then change the parameters of this model to reflect the changes. Such a method has the benefit that it may be possible to check the accuracy of the model being used by comparing the result obtained from the model with actual recorded data or utility bills or data developed by means of disaggregation (see the COMPONENT evaluation document). One for one comparison does not necessarily guarantee the model is correct but it does establish some measure of confidence. In carrying out analysis in this manner, it is important that the before and after situation represented by the same model. If different models are used differences in predicted energy may partly result from differences (inaccuracies) in the models themselves.

For the second method there is no possible means of cross-checking the accuracy of the prediction although for many applications, for example estimating the direct fan energy savings resulting from a scheduled fan shut down, such a limitation is of little consideration.

For all simple analysis techniques it is extremely important to consider "indirect (energy) effects" since these are rarely accommodated in simple models. Many publications for instance dealing with savings from delamping will present a simple model where savings are given by the product of the wattage of lamps removed and the time the lighting is normally used. In fact this is not the case and savings in energy must accommodate changes in the space requirements for heating and cooling brought about by the delamping.

3.2.4 Resource Allocation and Timing

The amount of time required for analysis will be entirely dependent on the number and type of retrofits being evaluated. Where there are a large number of retrofits being considered, especially where the retrofits are high cost items, it is often desirable to use "complex analysis methods".

3.2.5 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

All calculations should be retained. Calculations should be laid out in an orderly fashion and all assumptions clearly stated.

3.3 STAGE III - SPECIALIZED IN-DEPTH MONITORING

3.3.1 Description of Techniques

Following from the previous definition for 'simple analysis techniques', complex techniques can be generally thought of as detailed computer models generally capable of modelling the complete building in such a manner that interactions between systems are automatically accommodated.

3.3.2 Equipment

Software and a computer to run the software on will be required. There are several hundred (computer) energy analysis software packages to choose from, although not all these would meet the definition of providing complete building modelling capabilities. For large building modelling exercises, a number of programs do stand out from the rest as being most suitable (e.g., DOE, BLAST and APEO/ESP).

3.3.3 Detailed Procedure

With such detailed techniques, energy savings must be calculated by comparing the energy consumption estimates of a model representing the current situation and with those of a model representing the building with one or more of the proposed retrofits implemented.

In order to generate confidence in the model developed it is extremely important to check the original model predictions with available energy records. This comparison should be made on the basis on monthly or weekly overall consumptions and by comparing component usage of energy between that predicted by the model and that obtained from site collected data (see COMPONENT evaluation).

3.3.4 Resource Allocation and Timing

The amount of time required will vary greatly on the actual software chosen, on the experience of the analyst, on the degree of complexity of the building, on the level of detail of the modelling and on the number of retrofit strategies to be evaluated.

3.3.5 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

All input and output files and comparisons with utility and disaggregated energy data should be retained.

4. REFERENCES

1. **ASHRAE Fundamentals**. Chapter 28, 1985.

2. Cane, R.L.D. **A Modified Bin Method for Estimating Annual Heating Requirements for Air Source Heat Pumps**. ASHRAE Journal, September 1979, pp. 60–63.

3. Barakat, S.A. and Sander, D.M. **Utilization of Solar Gain Through Windows for Heating Houses**, National Research Council Canada, Building Research Note 184, Ottawa, March 1982.

4. Barakat, S.A. and Sander, D.M. **A Simple Method for Determining the Heating Requirements of Direct-Gain Passive Solar Houses**, National Research Council Canada, Building Research Note 195, Ottawa, September 1982.

5. Mitalas, G.P. and Stephenson, D.G. **Cooling Load Calculation by Thermal Response Factor Method**. ASHRAE Transactions, Vol. 73, Part II, 1967, p. 111.1.1.

6. Mitalas, G.P. and Stephenson, D.G. **Room Thermal Response Factors**. ASHRAE Transactions, Vol. 73, Part II, 1967, p. 111.2.1.

7. Cumali, Z.O., Sullivan, R. and Nazaki, S. **Thermal Load and Computer Simulation Run Time Comparisons Using a Research Version of DOE-2**. ASHRAE Transactions, Vol. 88, Pt. 2, 1982.

8. Dubin, F.S. **Guidelines for Saving Energy in Existing Building, Engineers, Architects and Operators Manuals ECM2 - USFEA**. Report No. FEA/D-75/358, June 16th, 1975.

9. Government Institutes Inc. **Energy Audits Manual**. Rockville, MD., March, 1984.

10. Wendes Engineering & Contracting Services. **Energy Retrofit Savings Made Easy**.

11. The Swedish Council for Building Research. **Energy Audit Sourcebook Report from IEA Task XI**. To be published.

A substantial portion of the text presented under "Background Information" is taken directly from the report "Computer Programs for Passive Solar Residential Design" written by Leslie Jones & Associates, and published by the National Research Council Canada (publication No. 24686).

5. APPENDICES

5.1 STANDARD TERMS AND UNITS OF MEASUREMENT

Retrofit Physical change made to a building component, piece of equipment or system.

Simulation Model A model which calculates (predicts) the energy consumption of a building given the properties and use of the building and its components and a set of climatic data.

Bin Method Refer to page 6.

Direct (Energy) Effect The change in energy use of a piece of equipment or system as a direct result of a change to that piece of equipment or system.

Indirect (Energy) Effect The change in energy use of a piece of equipment as a result of a change to some other piece of equipment or system.

Side Benefit Additional (non energy) benefit resulting from the implementation of a retrofit. For example where the increase in electric motor life expectancy where the motor speed or load is reduced.

Adverse Effect Detrimental effect resulting from the implementation of a retrofit. For example the possible reduction in electric motor expected lifetime with frequent on/off cycling.

5.2 APPLICABLE AUTHORITIES AND REGULATIONS

All retrofit strategies and materials must comply to statutory Regulations Standards and Codes of Practice as referenced elsewhere in the Building Performance Evaluation Document.

5.3 CATALOGUE OF INTERACTIONS BETWEEN BUILDING SYSTEMS

5.3.1 Introduction

This appendix describes how changes in one building system, say the envelope system might affect other building systems. Interactions or side effects occurring in what one can consider as a unidisciplinary area, for instance the affect of the change in performance of a cooling coil with air flow changes, are not specifically described.

5.3.2 Effects of Load Changes on Sub-system Performance

Retrofit action aimed at reducing energy consumption and many of those directed to improving environmental quality of correcting material deficiencies will result in changes to the thermal and electrical load requirements of spaces and equipment. The following sections (5.3.3 to 5.3.5) deal specifically with retrofit actions aimed at improving energy

effectiveness and one of the consequences of implementing such changes will be changes in load. For the most part these load changes can be taken for granted and are not reproduced against each possible retrofit action; occasionally, however, references to load changes are made in the text where the load change occurs outside of the discipline in question and might otherwise be missed.

When considering the effect of retrofit action and load changes, it is important to bear in mind the following:

a) 'Direct' and 'Indirect' Effects

'Direct Effects' are concerned with the actual effect observed in the piece of equipment or system being changes; e.g. the change in electrical energy consumption of a lighting fixture after delamping.

'Indirect Effects' are concerned with the effect of the change on other equipment or systems, i.e. not the equipment directly involved in the retrofit. To continue the above example, the 'indirect effect' of delamping might be to increase heating requirements and reduce cooling. This indirect effect might be observed within the same discipline, or same energy source/fuel, or in other disciplines or energy systems.

b) 'Peak' and 'Seasonal' Loads

Some changes may affect the 'peak' load occurring on a system or piece of equipment, thereby permitting an equipment capacity reduction, where this might be beneficial, or may only affect SEASONAL loads (i.e. loads at other than PEAK conditions).

c) Time of Loads

The actual time of load changes can be important where considerations of coincident peak loads on equipment and systems are concerned and particularly so where the timing of load may affect time of day or peak demand changes. Changes in seasonal loads may also influence the period of time that equipment is required to operate affecting equipment life or they can reduce or extend the heating and cooling 'seasons'.

d) Undersized Equipment and Systems

In cases where loads are increased, the ability of existing equipment to provide adequate comfort conditions may be compromised. Conversely reductions in loads may permit currently undersized equipment to provide satisfactory conditions.

e) Unequal Zone Load Changes

Changes in load in one part of a building or a system and not equally on all others may upset the balance of a system sufficiently to compromise comfort conditions in one or more zones. Such effects may require rebalancing and/or system setpoint or equipment and system changes.

More specific effects of load changes on equipment and systems are described in Table 5.3.1 which appears at the end of this appendix.

5.3.3 Effects of Changes of Environmental Quality

5.3.3.1 Introduction

The following sections deal with changes to the quality of the environment. Whilst changes to the actual equipment and systems providing the environment are described separately under Building Envelope, Mechanical and Electrical Equipment, the distinction (between the actual environment and the systems) is not always easy to make and readers should, for completeness, cross-check all these sections.

Reductions in the amount of service provided, say the amount of fresh air or lighting level, will in most cases reduce the amount of energy used, although such actions can compromise occupant satisfaction. Conversely, improvements of environmental quality will, although not necessarily, increase the amount of energy used.

5.3.3.2 Thermal Environment

See also Section 5.3.5.6 (HVAC Systems and Controls)

Note that limitations of the HVAC system may restrict the ability to achieve some of the changes described below.

a) Reduction in space temperature setpoint during heating, or increase during cooling

Negative Effect:

i) Increasing cooling setpoint of interior zones in winter where the building has a heat recovery systems will reduce the amount of reclaimed heat available for heating.

b) Reduced space humidity setpoint (winter), increased (summer)

Positive Effect:

i) Winter: Possible reduction of condensation related problems on cold surfaces.

Negative Effect:

i) Winter: Increased incidence of static electricity related problems.

5.3.3.3 Air Quality

See also 5.3.5.6 (HVAC Systems and Controls)

a) Reduction of ventilation rates during heating and cooling. (Lower overall rates, scheduled or varied with occupancy, CO controllers in parking garages,etc.)

Positive Effects:

i) Reduction in air flow rates. (See 5.3.5.5 under Ductwork Systems.)

ii) Increased humidity levels in winter or reduced humidification loads (see also under Negative Effect). Reduced Humidity and/or Dehumidification loads in summer.

Negative Effects:

i) Very low ventilation rates might result in high humidity problems in winter.

ii) A change in the relationship between supply and exhaust of outside air will affect infiltration rates. Overpressurised buildings will increase the amount of warm moist air passing through the envelope thereby increasing the potential of frost damage to the envelope.

b) Reduced rate of release/generation of pollutants

Positive Effect:

i) Lower ventilation rates possible (see first effect above). (See also Fans)

c) Improved efficiency of the collection of pollutants at their source of generation.

Negative Effect:

i) Lower ventilation rates possible (see first effect above). (See also Fans)

5.3.3.4 Visual Quality

a) Reduced visibility (lower light levels, reduced contrast, increased glare, less accurate colour rendering)

See 5.3.6.2 – Lighting Systems.

Note reductions in visibility may be reasonable to pursue in areas where the visual task is less exacting than that for which the space was designed for or where lighting was installed to accommodate partitioning which was not installed.

5.3.3.5 Aural Quality

a) Addition of silencers in ductwork systems to reduce HVAC related noise.

Negative Effects:

i) Increased ductwork resistance reducing air flows or requiring additional fan power.

ii) Some noise may be desirable for masking conversation and this "benefit" may be lost.

b) Addition of panes of glazing in exterior wall to reduce noise pollution in space.

Positive Effect:

i) Reduced Window Conduction and incidence of condensation. Refer to 5.3.4.2 a).

c) Addition of sound absorbing partitions (not full length).

Negative Effects:

i) may compromise air circulation resulting in air quality or thermal comfort problems.

ii) may compromise lighting (daylighting and/or natural light)

iii) may compromise view through windows

iv) may compromise view of or access to emergency exits
v) may compromise the audibility of fire alarm signals.

d) Addition of demizing partitions

Positive Effects:
i) would restrict the spread of smoke through the ceiling plenum.

Negative Effects:
i) will compromise air circulation resulting in air quality or thermal comfort problems
ii) will compromise lighting (daylight and/or natural light)
iii) may compromise view through windows
iv) will compromise view of or access to emergency exits
v) will compromise the audibility of the fire alarm
vi) will prevent return air circulation from the space where ceiling space is used as a return air plenum and may compromise general return air patterns.

5.3.4 Effects of Changes to the Building Envelope

5.3.4.1 Introduction

With the possible exception of strategies aimed at improving daylighting, most envelope changes will result in reduced loads. Changes to the envelope will have most impact on heating and cooling equipment and systems, although effects will be observed in the environment. Specific effects are presented below.

5.3.4.2 Envelope

a) Reduced infiltration

Positive Effects:
i) Reduction/elimination of cold draughts, improved comfort
ii) Reduced space humidity in summer and increased in winter.

Negative Effects:
i) May lower air quality (less outside air)
ii) Very low rates may create high humidity related problems in winter.
iii) May compromise natural venting of fireplaces and furnaces.

b) Reduced Conduction

Positive Effect:
i) Increased surfaces temperature of walls in winter, leading to improved comfort.

c) Reduced Window Size and/or Removed Windows

Positive Effects:
i) Increased mean radiant temperature, leading to improved comfort
ii) Reduction in cold draughts (induced by window)
iii) Possible improved visual comfort (reduced glare)

iv) Possible reduced noise transmission from outside
v) Increase in light levels from the (electric) lighting system (increased reflected light)

Negative Effects:
i) Possible reduction in the quality of view
ii) Reduction in daylight contribution
iii) Possible loss of quality of the visual environment
iv) Loss of useful solar heat (i.e. heat contributing to space heating primarily of importance of window orientated SE through SW).

d) Window Management Blinds and Shading

Positive Effects:
i) Shading from direct radiation improving visual and thermal comfort.
ii) Possible increased artificial component of light level (light reflected off the blinds.)

Negative Effects:
i) Loss of daylighting potential.
ii) Possible loss of useful solar heat.
iii) Possible loss of view with some shading devices.

e) Window Management Natural Ventilation

Positive Effects:
i) Avoids the use of air conditioning during certain periods
ii) Improved comfort where no air conditioning
iii) Improved air quality (more fresh air)
iv) Possible reduction of noise (from mechanical ventilation equipment).

Negative Effect:
i) Increased noise pollution from outside.

Note that incorrect usage and increased infiltration through operable windows can sometimes negate positive load benefits.

5.3.5 Effects of Changes of Mechanical System Components

5.3.5.1 Introduction

Changes to mechanical equipment are presented here under a number of subheadings representing three processes in the provision of a comfortable environment, namely the production (of heating and cooling), distribution, and control of heating and cooling and ventilation air. Because these three stages would fall within the normal scope of interest of a HVAC engineer, interactions between these processes, although numerous and important, are not covered since the intent of this document is to cover interactions occurring between disciplines not within disciplines.

The mechanical engineer should be particularly aware of the effects mechanical changes often have on the use of, or loading of electrical equipment, such as electrical heating equipment, chillers, fans and pump motors.

5.3.5.2 Central Heating Plant

For most large systems where the control of the heating plant is not directly controlled by the space thermostat, changes to the heating plant have few, and generally not extreme, side effects outside the scope of the mechanical system.

a) Reset Boiler Setpoint with Demand for Heat

(This is an alternative or sometimes complementary action to using a 3-way mixing valve.)

Positive Effect:

i) Improved control, and hence thermal comfort, as compared with a fixed temperature supply system.

Negative Effect:

i) Poor scheduling/control can compromise the ability of the boiler plant to deliver sufficient heat to the distribution terminal equipment.

b) Use of Air Source Heat Pumps

Negative Effect:

i) Increased outside noise pollution possibly leading to noisier internal environment.

5.3.5.3 Central Cooling Plant

Like heating plant, changes to central cooling equipment have little impact on other disciplines other than their impact on the use of electrical energy.

a) Reset Chilled Water Temperature with Demand for Cooling

Positive Effect:

i) Better control and hence thermal comfort (less extreme temperature savings)

Negative Effect:

i) Less latent cooling performed which may increase space humidity.

5.3.5.4 Pipework Systems

a) Increased Insulations

Negative Effect:

i) May compromise thermal comfort where pipe heat losses contribute to space heating.

b) Pumps Off When Not Required

Positive Effect:

i) Reduced (electrical) loads.

c) Repair Leaks

Positive Effects:
i) Reduced possibility of building material damage
ii) Reduced water and water conditioning cost

d) Balance System

Positive Effect:
i) Should improve thermal comfort (zone control)

e) Reduced Flow Resistance

Negative Effect:
i) Increased loads (elec.) unless pump capacity adjusted.

f) Reduced Flow Rates

Negative Effect:
i) Oversized motors resulting in lower power factor

5.3.5.5 Ductwork Systems

a) Fans Off When Not Required

Negative Effect:
i) Change in noise level from fans cycling on/off may be more distracting than continuous operation.

b) Balanced System

Positive Effect:
i) Should improve thermal comfort

c) Reduced Flow Resistance

Negative Effect:
i) Increased load (electrical) unless fan capacity adjusted.

d) Reduced Flow Rates

Negative Effects:
i) May compromise air circulation and thermal comfort and/or air quality.
ii) Load on motor reduced which lowers the power factor and motor operating efficiency at low loads).

e) Clean/Replace Filters

Positive Effect:
i) Reduction in the amount of (larger) particles circulated through the conditioned spaces.

5.3.5.6 HVAC Systems and Controls

a) Setback Strategies (Temperature, Ventilation, Air, Humidity)

Negative Effects:

i) Cold surfaces (after set-back) may compromise comfort once space (air) temperature setpoint has been reached.
ii) Can increase demand charges (and overall bill) for electric heating systems.
iii) Lack of humidification can cause damage to sensitive items such as fine furniture, museum pieces, etc.
iv) Lack of ventilation may cause pollutant build up comprising air quality during early period of occupancy.
v) Increased likelihood of condensation on cold(er) room surfaces.
vi) Probability of frost damage increased with low night setback temperatures.

b) Reset Primary Heating and Cooling Mediums with Outside Conditions (temperature, with or without solar and/or wind compensation)

Positive Effect:

i) Improved control of heated and cooled spaces (less temperature swing).

c) Increased Room Supply Air Temperature Differentials

Negative Effect:

i) Lower air volumes may compromise air circulation and hence thermal comfort and/or air quality.

d) Variable Air Volume Systems

Positive Effect:

i) Increased electrical motor life (in addition to mechanical equipment).

Negative Effect:

i) May compromise air circulation and hence thermal comfort and air quality at low air volumes.

e) Prevent Leakage Through "Closed" Control Valve

Positive Effect:

i) Reduction/elimination of overheating and cooling.

f) Humidistat Control of Swimming Pool Hall

Ventilation

Positive Effect:

i) Higher average humidity will improve thermal comfort of bathers.

Negative Effect:

i) Higher average humidity levels may aggravate material deterioration.

g) Use of Destratification Devices in High Spaces

Positive Effect:

i) Improved air circulation and hence (possibly) thermal comfort and/or air quality.

h) Air Economisers

Positive Effect:

i) Enhanced air quality (as compared with fixed minimum air systems) during free cooling.

i) Evaporative Cooling

Negative Effect:

i) Higher space humidity levels with direct evaporative coolers.

j) Use of Deadband Thermostats

Negative Effect:

i) Wide deadbands/throttling range can compromise thermal comfort.

k) Replacement of Oversized Control Valves and Control of Large Coils By Single Valve

Positive Effect:

i) Improved thermal comfort (less extreme temperature savings).

l) Supply Exhaust Make-up Air From Other Zones (e.g. discharge washroom exhaust into parking garage)

Negative Effect:

i) May compromise air quality in the space.

m) Variable Air Volume Fume Hoods

Negative Effects:

i) Low discharge velocities at the vent discharge may compromise dispersion and lead to discharge being drawn into the fresh air supply thereby compromising indoor air quality.

ii) May upset desired air flow between zones (i.e. flow from 'clean' area to 'dirty area' reversed).

n) Mechanical Dehumidification in Pool Halls

Positive Effect:

i) Possibility of lower humidification without energy penalty thereby reducing humidity related material degradation.

Negative Effect:

i) Lower bather comfort at low humidities.

o) Air to Air Heat Recovery

Positive Effect:

i) Permits enhancement of air quality (more fresh air) with minimal energy penalty.

Negative Effect:

i) Some units suffer from the possibility of cross contamination.

p) Swimming Pool Covers

Positive Effect:

i) Reduced humidity related damage by reducing humidity.

Negative Effect:

i) Blanket requires manhandling into position between uses.

q) Local Heating and Cooling Systems (in sparcely populated spaces)

Negative Effect:

i) High level of thermal comfort may be difficult to achieve.

r) Use of Direct Gas Fired Heating Units

Negative Effect:

i) Products of combustion released into the space may compromise air quality. (Note: Such System normally only permitted for make-up air heating of spaces such as parking garages.)

5.3.5.7 Domestic Hot Water

a) Reduced Temperature of Delivery (extreme is to use cold water for sanitation)

Positive Effect:

i) Reduced loads (primarily standby losses)

Negative Effect:

i) May compromise some sanitation process e.g. Special (different) detergents may be desirable/required.

b) Reduced Use of Circulation Pumps

Negative Effect:

i) Will increase amount of water run off before obtaining desired temperature creating increased waiting time and/or greater water use. May compromise sanitation process in automatic washing processes.

c) Use of Increased Storage Capacity and Off Peak Heating

Positive Effect:

i) Reduced peak demand (applicable to electric heat systems).

d) Reduced Faucet Flow Rates

Negative Effect:

i) May compromise user satisfaction (particularly relevant very low flow shower heads).

5.3.6 Effects of Changes of Electrical System Components

5.3.6.1 Introduction

Most interactions occurring involving electrical system components are usually the result of changes to mechanical equipment, although a number of interactions do occur in the other direction, i.e. electrical system changes affecting mechanical systems.

These interactions are described below. For the purpose of this text, interactions between electrical lighting system components and other electrical equipment are *not* detailed.

5.3.6.2 Lighting Systems

a) Reductions in Lighting use through switching devices

Positive Effect:

i) Reduced cooling loads

Negative Effects:

i) May upset HVAC system balance and create discomfort (lack of heating, overcooling) where switching pattern between areas on the same thermal control zone are markedly different.

ii) Increased heating loads.

b) Reductions in the installed electrical line load

Positive Effect:

i) Reduced cooling loads

Negative Effects:

i) May upset system balance and create discomfort where changes are not uniformly made throughout all areas on the same HVAC control zone.

ii) Systems control setpoints such as primary air temperature may need changing to ensure potential savings are realised.

iii) Increased heating loads.

5.3.6.3 Other

a) Motor and Drive Alignment

Positive Effects:

i) Enhanced life of driven (mechanical) equipment (in addition to motor)

ii) Less noise

b) Load Demand Control Through Load Shedding

Negative Effects:

i) May comprise thermal environment, air and aural* quality (depending on the actual equipment and period turned off). * cycling noises tend to be more distracting than steady noises.

ii) Demand control by cycling can compromise equipment life.

c) Motor Speed Control

Positive Effect:

i) Increased life of driven (mechanical) equipment, in addition to motors.

d) Smaller Motors

Negative Effect:

i) Starting torque may be insufficient to accelerate mechanical equipment with high inertia (e.g. large fan wheels).

EQUIPMENT		EFFECT	OPTIONS FOR IMPROVEMENT (other then replacement)	
Boilers	i)	Lower seasonal efficiency, most pronounced if not fully modulating burners. Modulating burners with limited turn down may operate in on/off mode if significantly oversized.	i)	Lower firing rate of existing burner or replace burner. (Potential for improving boiler % because of higher heat transfer surface/boiler ouput ratio.)
	ii)	Increased spare capacity for quicker preheat.	ii)	Less units may be operated in multi-unit plant.
Chillers	i)	Chiller performance may change either up or down depending on the type of machine(s), method of capacity control and the extent to which the machine(s) is oversized.	i)	Capacity control changes.
	ii)	Increased space capacity for quicker pre-cooling.	ii)	Less units may be operated in multi-unit plant.
Pumps (too much flow at system resistance)	i)	Unnecessary pumping energy by circulating additional fluid to that required.	i)	Increase system resistance (adjust throttle valve(s)) limited to operating range of pump.
			ii)	Reduce impeller size. (preferred to i).
See also 'Pipework Systems'			iii)	Lower pump speed (new sheaves, motor speed control (preferred to i)).
Fans (too much flow at system resistance)	i)	Unnecessary fan energy by circulating additional air to that required.	i)	Increase system resistance (adjust dampers) - limited to operating range of fan.
	ii)	For equipment which is cycled, may result in short cycling.	ii)	Lower fan speed by fitting new sheaves or motor speed control (preferred to i). Lower air volumes may require resetting of system at set-points &/or may compromise space air circulation patterns.
See also 'Ductwork'			Note:	Lowering air volumes will reduce motor drive requirements; see 5.3.6.3 'Other' for effects.
Pipework*	i)	Reduced friction losses and noise.	i)	Not applicable.
	ii)	Higher than necessary heat losses/gains.	ii)	Increase insulation.
See also 'Pumps'	iii)	Very low velocities (below 0.6 m/s will not entrain trapped air.)	iii)	Installation of air separation devices.
* Assuming the flow rate has been reduced to meet the new reduced loads.				
Ductwork*	i)	Reduced friction loss and noise.	i)	Not applicable.
See also 'Fans'	ii)	Higher than necessary heat losses/gains.	ii)	Increase insulation.
* Assuming the flow rate has been reduced to that required to meet the new reduced loads.				

EQUIPMENT		EFFECT	OPTIONS FOR IMPROVEMENT (other then replacement)
Heating Terminals (includes control devices)	i)	Less stable control (i.e. larger temperature swings)	i) Use smaller control valve and/or lower fluid temperature. ii) Blank off or remove part of terminal or coil.
Storage Devices	i)	Possible reduction in the quality (useful temperature) of stored medium.	i) Install baffles to minimize blending within the storage medium.
Lighting*	i)	Higher than necessary lighting electrical consumption and internal heat gains.	i) Removal of fixtures, delamping, dimming, lower wattage lamps.
* Existing installation provides levels in excess of that considered necessary.			
Electrical Distribution	i)	Lower voltage drops giving better voltage regulation.	i) Not applicable.
Motors	i) ii)	Loss of efficiency. Lower power factor.	i) & ii) Use "power factor controllers"

Table 5.3.1 Effect of Oversizing of Equipment & Systems

5.4 CATALOGUE OF ECONOMIC INDICATORS

5.4.1 Simple Payback

Simple Payback (years) is given by:

$$\frac{\text{Cost of Retrofit (\$)}}{\text{Net Average Annual Savings (\$/yr.)}}$$

Net average annual savings are the cost of fuel savings plus or minus changes in the cost of maintenance.

Advantage:

i) Easily evaluated and understood.

Disadvantages:

i) Does not take into account the true cost of the retrofit (i.e. investment cost)
ii) Does not take into account the effect of escalating costs, particularly fuel costs.
iii) Does not take account of longevity of the retrofit and performance after payback period. (Two retrofits with the same payback cannot be considered of equal value if one does not last as long as the other).

5.4.2 Payback Factor

Payback Factor is given by:

$$\frac{C}{E} \times \frac{AVL_l}{AVL_a}$$

C = capital cost of the retrofit ($)
E = annual cost savings ($/yr.)
AVL = average useful life of the equipment
l = longest life of all those retrofits being considered
a = actual useful life of the specific retrofit under consideration

The most favourable retrofit will be the one that has the lowest 'payback factor'.

Advantage:

Considers the longevity of the retrofit being invested in and allows alternative strategies to be compared simply.

Disadvantages:

i) Does not take into account the true cost of the retrofit (i.e. investment cost)
ii) Does not take into account the effect of escalating costs, particularly fuel costs.

5.4.3 Discounted Payback Time

Discounted payback time (years) is given by

$$\frac{1}{\log_n R} \cdot \log_n \left[\left(\frac{C}{E} \cdot \frac{(R-1)}{R} \right) + 1 \right]$$

where $R = (1 + j)/(1 + i)$

C = capital cost of retrofit ($)
E = annual cost savings ($/yr.)
i = current interest rate on borrowed capital
j = net escalation rate of energy (i.e. escalation rate of energy above the average rate of inflation)
n = lifetime of the investment (years)

Advantage:

i) Takes into account borrowing rates (for capital) and escalation of energy costs.

Disadvantages:

i) Does not take account of the longevity of the retrofit and performance after the payback period.
ii) Changes in maintenance costs are not included in the formula given.

5.4.4 Present Value

Present value ($) is given by:

$$1 + \frac{E \cdot R\,(R^n - 1)}{(R-1)} - \frac{M \cdot P\,(P^n - 1)}{(P-1)}$$

where $R = (1 + j)/(1 + i)$ and $P = (1 + m)/(1 + i)$

E = annual cost savings ($/yr.)
M = maintenance cost
i = current interest rate
j = net escalation rate of energy prices
m = net escalation rate of maintenance costs
n = lifetime of the investment (years)

Advantage:

Most complete economic indicator giving a measure of the total profit earning potential of an investment over its lifetime (i.e. as long as the retrofit continues to provide the same level of energy savings).

Disadvantage:

i) Difficult to predict inflation rates with any degree of certainty.

5.4.5 Internal Rate Of Return (Irr)

Internal Rate of Return can be obtained by:

a) Calculating the value of R which satisfies the relationship:

$$R^{n+1} - R\left(\frac{C}{E} + 1\right) + \frac{I}{E} = 0 \text{ and}$$

b) Calculating the IRR which is given by:

$$\frac{1+i}{R} - 1$$

The investment can be said to be profitable if the IRR is greater than the interest (borrowing) rate.

C = capital cost of retrofit ($)
E = annual net cost of saving of the retrofit ($/yr.)
j = net escalation rate of energy prices
n = lifetime of the investment

Advantages:

i) It is not necessary to assume an interest rate.
ii) Can give a means of comparing the relative investment value of a number of alternative retrofits.

Disadvantages:

i) Tends to favour short term investments.
ii) No analytical solution to equations, numerical interaction must be used.

5.5 BUILDING PERFORMANCE EVALUATION DOCUMENT LIST

Documents in this series have been divided into four classes. Class A documents describe the use of documents in the other three classes. Class B is a catalogue of tests which includes an index and cross reference list. Class C documents provide an overview of the three performance areas and summarize the Class D documents in the respective area. Class D documents contain descriptions of performance attributes and detail means of assessing those attributes.

	A1	Project Manager's Guide
	A2	Property Manager's Guide
	B1	Catalogue of Tests
Overviews	C1	Environmental and Energy Performance
	C2	Functional Performance
	C3	Systems and Material Performance
Environmental and Energy Performance	D01	Pollutant Evaluation
	D02	Pollution Migration
	D03	Thermal Environment Evaluation
	D04	Global Evaluation: Energy Performance
	D05	Component Evaluation: Energy Performance
	D06	Equipment and Systems Evaluation: Energy Performance
	D07	Retrofit Evaluation: Energy Performance
	D08	Acoustic Environment Evaluation
	D09	Air Circulation Evaluation
	D10	Illumination Evaluation
	D11	Weather Data Collection
Functional Performance	D20	Record and Archive Analysis
	D21	Plan Annotation
	D22	Focused Interviews
	D23	Questionnaires
	D24	Observation
Systems and Material Performance	D30	Structural Walls and Columns: Condition Survey
	D31	Structural Slabs and Roofs: Condition Survey
	D32	Parking Garages: Condition Survey
	D33	Mechanical Systems Evaluation
	D34	Mechanical Controls Evaluation
	D35	Electrical Systems Evaluation
	D36	Airtightness and Pressure Monitoring
	D37	Measurement of Outdoor Air Supply Rate
	D38	Thermographic Inspections of Building Enclosures
	D39	Thermal Resistance Measurement
	D40	Moisture Content Inspections
	D41	Roofing Systems Evaluation

Travaux publics Canada
Services d'architecture et de génie

Public Works Canada
Architectural and Engineering Services

Série sur l'évaluation du rendement des immeubles

Évaluation des améliorations: rendement énergétique

Document D07

Canada

Série sur l'évaluation du rendement des immeubles

Évaluation des améliorations: rendement énergétique

Document D07

SAG 1-4:86-27

mars 1988

Les sujets traités dans ce document représentent les points de vue des auteurs et ne sont pas nécessairement les points de vue ou toutes lignes de conduite du département des Travaux publics.

Le ministre des Travaux publics ne fait aucune recommandation ou n'endosse sous quelque forme que ce soit, exprimée ou tacite, cette publication ou les programmes ou l'information qu'elle contient quant à la qualité, la commercialisabilité, l'adéquation à une fin particulière ou la capacité à produire un résultat quelconque. En aucun cas, le Ministre ou Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, ses employés, fonctionnaires ou agents gouvernementaux ne peuvent être tenus légalement responsables à l'égard de quiconque pour un préjudice direct, indirect ou découlant de l'utilisation de ladite publication ou des programmes ou de l'information y contenus.

Publiés par les Services d'architecture et de génie
Travaux publics Canada

Travaux publics Canada | Public Works Canada

FICHE SIGNALÉTIQUE DE DOCUMENT

1. Titre du document ÉVALUATION DES AMÉLIORATIONS : RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE	2. Numéro de contrôle AES/SAG 1-4:86-27
	3. Date Mars 1988
4. Auteur(s) Leslie Jones & Associates Inc.	5. No de réf. du conseil
6. Chargé de projet	7. No de la collection technique D07
8. Nom et adresse de l'organisme rédacteur Division du rendement des immeubles, T.P.C. Local C-456, Édifice Sir Charles Tupper Promenade Riverside, Ottawa, Ontario, K1A 0M2 Téléphone: (613) 998-7830	9. Type de document Lignes directrices
	10. Nombre de pages 35
11. Nom et adresse de l'organisme promoteur Technologie du design, de la construction et de l'immobilier Programmes de soutien à la gestion immobilière fédérale Logement	12. No de dossier de TPC A4270-16
	13. No de projet de TPC 602055
14. Notes Toutes questions ou commentaires doivent être dirigés à l'organisme rédacteur, se référer à 8 ci-haut.	15. No de publication de ASC
	16. ISBN

17. Résumé

Définir un plan logique et économique contribue avantageusement à l'évaluation totale d'efficacité énergétique pour toute amélioration lorsque les caractères physiques d'un bâtiment sont modifiés. Le processus d'amélioration concerne les étapes suivantes : calcul des économies énergétiques directes et indirectes; estimation du coût d'immobilisation; analyse du coût-avantage; évaluation de l'impact possible sur le rendement des autres composants et systèmes de l'immeuble. Un répertoire des interactions entre les divers systèmes du bâtiment peut simplifier le travail.

Ce document décrit les méthodes et les techniques d'analyse relatives aux trois étapes d'évaluation. Il définit également les différences et les limites des méthodes de calcul de base, le niveau de détails, la sensibilité et la précision des méthodes disponibles. Pour prédire la consommation énergétique des composantes de l'immeuble, le calcul à la main et les modèles dressés par ordinateur sont les techniques d'approche utilisées pour cette évaluation.

18. Diffusion Exemplaires disponibles: Centre de documentation Services d'architecture et de génie Travaux publics Canada Édifice Sir Charles Tupper Promenade Riverside Ottawa, Ontario K1A 0M2	19. Mots clés	
	20. No de catalogue du centre de documentation BP D07	21. Prix

DPW 2398 (86/09)

TABLE DES MATIÈRES

	PRÉFACE	*vii*
1.	**INTRODUCTION**	*1*
1.1	But et objectifs	*1*
1.2	Information de base	*1*
2.	**DÉLIMITATION DU SUJET**	*7*
2.1	Cadre général	*7*
2.1.1	Méthode de calcul des économies d'énergie "directes" et "indirectes"	*7*
2.1.2	Méthode de calcul des coûts d'immobilisation	*8*
2.1.3	Analyse coûts-avantages	*8*
2.1.3.1	Ordre de réalisation des améliorations	*8*
2.1.3.2	Durée de vie des améliorations et coûts d'entretien	*9*
2.1.4	L'impact d'une amélioration donnée sur la performance d'autres secteurs de consommation du bâtiment	*9*
2.2	Limites des techniques d'évaluation	*9*
3.	**MÉTHODOLOGIE**	*11*
3.1	Étape I – Évaluation préliminaire (Introduction)	*11*
3.2	Étape II – Techniques simples de mesure	*11*
3.2.1	Description des techniques	*11*
3.2.2	Équipement	*11*
3.2.3	Démarche détaillée	*11*
3.2.4	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	*12*
3.2.5	Documentation : établissement et classement des documents de travail	*12*
3.3	Étape III – Monitage détaillé et spécialisé	*13*
3.3.1	Description des techniques	*13*
3.3.2	Équipement	*13*
3.3.3	Démarche détaillée	*13*
3.3.4	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	*13*
3.3.5	Documentation : établissement et classement des documents de travail	*13*
4.	**RÉFÉRENCES**	*14*
5.	**ANNEXES**	*15*
5.1	Termes et unités standards de mesure	*15*
5.2	Autorités compétentes et réglementation applicable	*15*

5.3	Répertoire des intéractions entre les divers systèmes du bâtiment	15
5.3.1	Introduction	15
5.3.2	Effets des modifications de la charge sur la performance des sous-systèmes	16
5.3.3	Effets produits par des modifications apportées à la qualité de l'environnement	17
5.3.3.1	Introduction	17
5.3.3.2	Confort thermique	17
5.3.3.3	Qualité de l'air	18
5.3.3.4	Confort visuel	19
5.3.3.5	Confort auditif	19
5.3.4	Effets de modifications apportées à l'enveloppe du bâtiment	20
5.3.4.1	Introduction	20
5.3.4.2	Enveloppe	20
5.3.5	Effets des modifications apportées aux éléments composants des systèmes mécaniques	22
5.3.5.1	Introduction	22
5.3.5.2	Centrale de chauffage	22
5.3.5.3	Centrale de refroidissement	23
5.3.5.4	Installations usant de tuyauteries	23
5.3.5.5	Installations usant de conduits d'air	24
5.3.5.6	Installations CVCA et appareils de commande et de régulation	24
5.3.5.7	Eau chaude domestique	27
5.3.6	Effets de modifications apportées aux éléments composants des systèmes électriques	28
5.3.6.1	Introduction	28
5.3.6.2	Systèmes d'éclairage	28
5.3.6.3	Autres	29
5.4	Répertoire des facteurs économiques	32
5.4.1	Période de recouvrement simple	32
5.4.2	Facteur de recouvrement	32
5.4.3	Temps de recouvrement escompté	33
5.4.4	Valeur actualisée	33
5.4.5	Taux de remboursement interne (TRI)	34
5.5	Liste de documents évaluant le rendement des immeubles	35

LISTE DES TABLEAUX

1.2.1	Faiblesses courantes lors de la création de modèles	6
5.3.1	Effet du surdimensionnement des appareils et des systèmes	30

PREFACE

L'évaluation des améliorations est concernée avec l'estimation des économies d'énergie possibles, des coûts d'immobilisation et des coûts sur la durée de vie associés avec toute action d'amélioration proposée i.e. toutes modifications matérielles dans un bâtiment. Le présent document décrit comment réaliser cette évaluation en ayant recours à des méthodes manuelles de calcul et à des modèles informatiques.

La méthode utilisée permet également de déterminer l'impact des changements proposés sur la performance globale du bâtiment, grâce à l'établissement d'un répertoire des interactions qui existent entre les divers systèmes du bâtiment.

L'évaluation des améliorations énergétiques est la dernière étape du processus d'évaluation de l'efficacité énergétique des bâtiments. Dans le présent document des renvois sont souvent faits aux étapes précédentes décrites dans les documents intitulés: "Évaluation globale", "Évaluation des secteurs de consommation" et "Évaluation des installations et systèmes". Par contre, dans ces documents on fait souvent référence aux techniques d'analyse qui sont décrites en détails dans le présent document.

1. INTRODUCTION

1.1 BUT ET OBJECTIFS

L'évaluation des améliorations a pour but l'étude de l'impact de toutes modifications proposées (AMÉLIORATION) relativement au rendement du bâtiment. Cette évaluation doit porter sur les changements touchant les coûts d'exploitation liés directement aux modifications apportées au bâtiment ainsi que sur les répercussions indirectes qu'ils auront sur les autres aires ou systèmes du bâtiment, notamment en ce qui a trait à l'énergie, au confort ou à toute autre implication relative au rendement. Grâce aux estimations des coûts d'immobilisation et aux techniques d'établissement du prix de revient liées à la durée de vie utile (coût global), cette évaluation permet d'atteindre l'objectif visé, soit la définition d'un plan logique et rentable de rénovation/modernisation.

1.2 INFORMATION DE BASE

Le gros du travail d'évaluation des améliorations prévues portera sur l'estimation des économies d'énergie associées à certaines actions particulières d'amélioration. De ce fait, il est important de connaître les différences qui existent entre les diverses méthodes de calcul ainsi que les limites propres à chacune d'elles. D'une méthode à l'autre, le degré de sensibilité et de précision varie considérablement. Le fait qu'une méthode de calcul soit informatisée, (lors de calculs complexes ou simples) ne signifie pas qu'elle est nécessairement plus précise qu'une méthode manuelle.

La méthode à la fois la plus simple et la plus ancienne pour prédire la consommation d'énergie est celle des degrés-jours. Même si on peut s'y fier pour prédire de façon raisonnable la consommation d'énergie dans le cas de certaines applications, elle n'est pas, dans sa forme de base, appropriée à l'évaluation comparative d'une gamme d'améliorations possibles.

On a tenté à plusieurs reprises et on tente encore de débarrasser de ses limites de base la méthode des degrés-jours c'est-à-dire sa sensibilité à un seul paramètre, la perte de chaleur globale. Vu sa simplicité inhérente, la méthode des degrés-jours et les méthodes qui en dérivent sont très populaires auprès de plusieurs concepteurs. Afin d'augmenter les possibilités offertes par cette méthode il a tout d'abord été proposé d'inclure des facteurs de correction pour tenir compte du chauffage intermittent, de la masse du bâtiment et des rapports entre les apports internes de chaleur et les pertes de chaleur par l'enveloppe du bâtiment, cette dernière variable étant prise en considération en utilisant des degrés-jours calculés à diverses températures de base.

Au cours des dernières années, plusieurs techniques sont apparues et toutes visaient à l'établissement d'une méthode manuelle de calcul simplifiée pouvant tenir compte d'un plus grand nombre de facteurs que ne le pouvait la méthode des degrés-jours. La plupart de ces méthodes de calcul sont fondées sur les résultats obtenus à la suite de plusieurs simulations détaillées (heure par heure), représentant une gamme de stratégies variées de conception "corrélées" ou "entre lesquelles on peut établir une relation

simple ou encore un certain nombre de relations". Plusieurs de ces méthodes, quelquefois appelées méthodes de corrélation ou modèles, sont fondées d'une part sur la méthode des degrés-jours pour ce qui est du calcul de l'équilibre énergétique par des composantes de pertes de chaleur par l'enveloppe et par le système de ventilation et, avec la corrélation ou la relation empirique pour ce qui est d'autres facteurs tels les apports solaires.

La méthode mise au point par Sander et Barakat (références 3 et 4) et connue sous le nom de "Facteur d'utilisation des apports solaires" ("Solar Utilization Method") illustre bien cette technique. Cette méthode qui n'exige qu'une seule application annuelle, prévoit la corrélation de l'apport solaire utile en deux paramètres soit le rapport entre l'apport solaire et la charge de chauffage et le rapport entre l'apport solaire et la masse intérieure du bâtiment. La partie des calculs non liée au solaire est effectuée en utilisant l'écart moyen entre les températures intérieure et extérieure durant la saison de chauffage, en tenant compte du nombre d'heures de chauffage et en appliquant un facteur de correction qui prendra en considération les apports internes de chaleur. Au besoin, les calculs peuvent également être faits sur une base mensuelle et cette façon de procéder constitue de fait la base du calcul de la charge calorifique utilisée dans les programmes HOTCAN et CMCH2.

Un inconvénient majeur que présentent les méthodes manuelles de calcul avancé énoncées ci-dessus est le fait qu'elles ne s'appliquent qu'à une gamme réduite de types de conception. Il s'agit là d'une restriction d'ordre pratique plutôt que théorique puisque pour couvrir avec une grande précision tous les types de conception il faudrait avoir recours à un nombre excessif de tables de données. Afin d'améliorer le degré de précision et la portée de la méthode d'analyse, il est nécessaire de s'écarter des solutions toutes faites et de se tourner plutôt vers des méthodes plus générales de groupement (par compartimentation des valeurs de calcul ou de mesure - "bin methods") et de modèles détaillés de simulation. Pour utiliser de telles méthodes, il faut que l'analyste construise un modèle mathématique représentant le type de conception retenu. Il pourra créer le modèle manuellement ou en utilisant des techniques informatiques.

Les méthodes de type "par groupement des valeurs de calcul ou de mesure" consistent principalement en l'analyse du bâtiment et des systèmes ou des appareils par une série distincte de calculs ou de modèles, chaque calcul ou modèle étant effectué ou établi d'après des conditions différentes d'exploitation. Les modèles sont établis d'après les conditions moyennes dans le cas de chacune des conditions d'exploitation définies.

Si on a recours à la méthode manuelle de calcul, les modèles doivent être suffisamment détaillés pour permettre de faire une distinction entre des conditions d'exploitation très différentes, mais pas au point où il sera impossible de faire les calculs à la main. (En guise d'exemple pour un cas extrême, une analyse horaire peut être considérée comme une méthode "par groupement" comportant 8,760 groupes ou modèles; dans ce cas, il est impensable d'avoir recours au calcul manuel).

Les modèles distincts peuvent être répartis à partir du nombre de types différents de groupement, chacun d'eux décrivant des différences dans le cas des variables d'exploitation suivantes:

1) températures extérieures, au bulbe sec
2) températures extérieures, au bulbe humide
3) les taux d'occupation
4) efficacité de la charge partielle d'occupation
5) apports solaires

Dans les cas simples, la consommation réelle d'énergie est obtenue en faisant le produit de la charge moyenne par le nombre d'heures de fonctionnement puis en additionnant les produits obtenus pour le cas de chacun des "groupements" de valeurs de calcul ou de mesure.

De plus, les résultats d'une série de calculs, prenons par exemple le calcul des charges de chauffage de locaux à partir des "groupes" de données sur la température extérieure au bulbe sec et sur le taux d'occupation des locaux, pourraient être transposés en "groupes" d'heures de fonctionnement pour diverses gammes de charges, lesquels pourraient à leur tour être utilisés pour évaluer la consommation de combustible de la chaudière.

Il existe plusieurs autres façons de définir des conditions de fonctionnement, elles sont sensiblement différentes les unes des autres plus particulièrement dans le cas d'installations CVCA complexes, les méthodes de calcul deviennent alors très compliquées. Citons pour exemples la "Modified Bin Method" (référence 1) et la méthode "par groupement" modifiée (référence 2) et appliquée aux pompes à chaleur.

Les modèles détaillés de simulation offrent les possibilités d'analyse les plus variées selon qu'il s'agisse de modèles mathématiques ou de modèles analogiques.

Les méthodes analogiques utilisent l'analogie qui existe entre le flux électrique et l'écoulement de la chaleur. Vu le temps qu'exige le développement de la configuration matérielle du réseau représentant le bâtiment (ce qui peut prendre plusieurs semaines) et la complexité du problème, ces méthodes ne sont généralement utilisées qu'aux fins de recherche.

Les modèles mathématiques sont souvent classifiés suivant la méthode analytique utilisée. Il existe dans ce cas deux méthodes de base pour aborder le problème.

La démarche en soit la plus rigoureuse et la plus répandue est celle des différences finies connue aussi sous le nom de "solution numérique détaillée" ("detailed numerical solution") ou de "méthode d'équilibre calorifique" ("heat balance method"). En termes simples, il s'agit-là de l'équivalent mathématique de la méthode analogique: le bâtiment est représenté par un réseau de noyaux reliés les uns aux autres, comme c'est le cas pour l'enveloppe du bâtiment, par des résistances thermiques séparées par des groupes de résistance de capacité thermique.

La plus grande faiblesse de ce type de méthodes, même si elle s'atténue au fur et à mesure qu'augmente la puissance des ordinateurs, est le temps nécessaire à la compilation des données et les coûts qui y sont associés afin d'arriver à une solution mathématique. Plus le modèle est complexe, plus le temps consacré au calcul augmente rapidement car les équations à résoudre sont plus nombreuses. Dans le cas d'une

analyse de conception d'un bâtiment utilisant l'énergie solaire sous forme de système passif, la méthode de choix est celle des différences finies. Afin d'introduire de tels modèles dans de petits ordinateurs et/ou de limiter les coûts de calcul, plusieurs modèles basés sur la méthode des différences finies voient leurs possibilité d'application quelque peu réduites. Par exemple, ils peuvent se limiter à l'analyse d'une seule zone thermique ou exclure les simulations des systèmes de chauffage et de refroidissement et des appareils.

Ces limitations peuvent avoir plus d'influence, qu'importe d'annuler les avantages que ces méthodes auraient pu présenter par rapport à la méthode alternative du facteur de réponse ou du facteur de pondération (références 5 et 6). Avec cette méthode, on évite d'avoir à résoudre des équations d'équilibre calorifique en utilisant des réponses pré-dérivées provenant des éléments composants du bâtiment: par exemple, un mur ou une pièce entière soumis à des dérangements thermiques tels des pertes de chaleur ou des apports solaires. Ces réponses pré-dérivées ou facteurs de réponse peuvent être établis expérimentalement, ce qui limite leur application à des montages de configuration semblable à celle du montage expérimental, ou on peut les calculer. Ce calcul peut être fait en dehors de l'outil d'analyse dans le cas d'une certaine gamme d'éléments composants types du bâtiment et de locaux, puis ces facteurs de réponse pré-calculés peuvent être ensuite intégrés à l'outil d'analyse.

Afin d'élargir le champ d'application de ces méthodes et de l'étendre à la conception de bâtiments hors de l'ordinaire ou non conventionnels, on pourra calculer ces réponses dans le cas de chaque bâtiment particulier avant de procéder à l'analyse horaire. Cette technique de calcul, connue sous le nom de "méthode du facteur de pondération sur mesure" ("custom weighting factor method") (référence 7), constitue un des choix offerts par le programme DOE2.1B et C du secteur public des États-Unis. Elle comporte toutefois une limite importante au niveau pratique soit le fait qu'il soit impossible d'apporter des changements aux propriétés des couches de l'enveloppe ou aux locaux sans devoir recalculer les facteurs de réponse ou de pondération; ainsi, la méthode ne peut tenir compte que des relations linéaires, et par conséquent ne permet pas, par exemple, de calculer avec précision les effets des échanges de radiations à ondes longues ou les tracés changeants d'ensoleillement d'une pièce sans devoir recalculer les facteurs de réponse.

Il est important de ne pas présumer que les méthodes des différences finies sont plus précises ou s'appliquent dans un plus grand nombre de cas que les méthodes des facteurs de réponse, car toutes deux sont des méthodes mathématiques. Il faut d'abord voir le degré de précision attribué au modèle réel. Par exemple, on pourrait, à l'extrême, établir un modèle à différences finies simple qui ignore complètement la masse du bâtiment et qui serait à toutes fins pratiques presque incapable de prédire les réponses du système aux apports solaires changeants et apports calorifiques internes.

Peu importe la base mathématique du modèle utilisé, tous les logiciels existants comportent des faiblesses du point de vue de la création de modèles. Voici quelques-unes des principales causes de ces faiblesses:

i) un ordinateur plus puissant serait nécessaire pour arriver à une solution plus précise ou bien le temps consacré au calcul ou encore les coûts seraient trop élevés;

ii) une solution plus élaborée et plus précise nécessiterait l'utilisation de logiciels difficiles d'emploi, c'est-à-dire des logiciels trop complexes par rapport au niveau de conception considéré ou aux ressources mises en oeuvre pour faire l'analyse;

iii) une solution simple pourrait être jugée acceptable dans le cas d'une partie plus ou moins grande de la gamme d'utilisation prévue pour le logiciel en question. Cette façon de procéder comporte souvent des risques puisque les auteurs des programmes font rarement ressortir ces restrictions alors que les concepteurs, pour leur part, sont souvent tentés d'utiliser les logiciels à des fins auxquelles les auteurs des programmes n'auraient jamais songé;

iv) le manque de concepts théoriques de base généralement reconnus, mis à l'épreuve ou jugés appropriés aux fins de modélisation de certains phénomènes physiques;

v) le manque de contrôle sur la construction et l'utilisation ultime du bâtiment, rendant les hypothèses (celles faites durant l'étape de conception) potentiellement très différentes de celles expérimentées en réalité;

vi) le manque de données climatiques appropriées;

vii) la faiblesse de conception des logiciels.

Il ne faudrait pas toutefois être trop sévère à l'endroit des logiciels en disant que les programmes existants n'ont pas toute la complexité qui devrait les caractériser si on tient compte de la compétence collective existante en matière de création de modèles. De fait, si un tel programme devait exister, il serait probablement trop complexe et les utilisateurs, à l'exception de quelques rares experts, devraient y consacrer trop de temps. Il est toutefois permis d'espérer que l'écart entre le degré de précision du programme et sa facilité d'utilisation devrait diminuer au fur et à mesure que les algorithmes, le matériel informatique et les techniques de programmation s'amélioreront.

L'utilisateur éventuel de logiciels devrait tenir compte des caractéristiques qui suivent:

i) faiblesse de conception du logiciel, par exemple, utilisation d'algorithmes et de méthodes désuètes alors que des méthodes plus précises et/ou plus simples existent;

ii) omissions volontaires, notamment dans les cas où le concepteur du programme avait des buts bien spécifiques quant à l'utilisation du logiciel visé. Ne pas choisir un logiciel avec l'idée de l'utiliser à des fins autres que celles pour lesquelles il a été conçu;

iii) prétentions de précision, dans les secteurs où le degré de précision est limité par l'état actuel des connaissances ou des contraintes d'ordre pratique dont une brève description figure au tableau 1.2.1.

Création de modèles illustrant les échanges de rayonnement solaire absorbé, de la radiation de grandes longueurs d'onde et de l'éclairage naturel dans un local intérieur.

La plupart des méthodes évitent d'avoir recours à un modèle géométrique précis pour tenir compte des variations continuelles de l'énergie solaire reçue par une surface ainsi qu'à un modèle détaillé des échanges thermiques par radiation et convection à l'intérieur d'un local donné. Le manque de données d'observation sur les composantes du rayonnement direct et du rayonnement diffus, réparties par longueurs d'ondes, contribue à affaiblir la technique de création de modèles.

Création de modèles illustrant les infiltrations d'air

La plupart des modèles ne tiennent pas compte des connaissances actuelles sur le sujet des infiltrations d'air. Des considérations d'ordre pratique tels les difficultés d'obtention de données spécifiques concernant les vents dans une région donnée, la fluctuation constante de la vitesse et de la direction du vent à l'intérieur de périodes d'une durée de beaucoup inférieure à une heure et le problème associé à la prévision précise du degré d'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment limitent, et cela est bien compréhensible, le degré de précision des modèles dans ce domaine.

Création de modèles illustrant les échanges inter-zones

La prédiction des mouvements naturels de l'air induit, dus aux écarts de température d'une zone à l'autre et aux infiltrations d'air, est un domaine négligé techniquement par la production de modèles et qui pourrait être sensiblement amélioré si on y apportait un peu plus de considération. De plus, le flux d'énergie solaire circulant d'une zone à une autre n'est pas pris en considération de façon suffisamment rigoureuse.

Perte de chaleur par le sol

Les techniques de création de modèles utilisées dans la plupart des logiciels existants sont loin d'être parfaites; leur contenu est déphasé par rapport aux connaissances scientifiques actuelles. Les conditions incertaines du sol, particulièrement la présence d'eau sur le site de construction du bâtiment proposé et dans le voisinage de celui-ci, affectera bien entendu la précision absolue de toute prévision concernant la consommation d'énergie.

Flux de chaleur multi-dimensionnel

Cette considération prend plus d'importance depuis qu'on s'est orienté vers la surisolation des maisons. Le problème est souvent ignoré ou alors l'utilisateur doit faire appel à un calcul manuel.

Simulation du système

Les simulations sur le marché ne tiennent pas compte des dernières innovations dans les domaines de la conception des systèmes CVCA et d'éclairage et ne permettent pas de tester de nouveaux types de systèmes et modes de régulation.

Répercussions du comportement des occupants sur la consommation d'énergie

Les études se limitent à très peu de choses dans le domaine de la prévision des réactions des occupants et de leur façon d'utiliser le bâtiment et les systèmes consommateurs d'énergie qui s'y trouvent. Les facteurs qui sont encore généralement imprévisibles visent des points tels l'utilisation que fait l'occupant de l'éclairage, des pare-soleil et des fenêtres ouvrantes.

Tableau 1.2.1 Faiblesses courantes lors de la création de modèles

2. DÉLIMITATION DU SUJET

2.1 CADRE GÉNÉRAL

Le processus d'évaluation des améliorations comporte les subdivisions suivantes:

1) le calcul des économies d'énergie "directes" et "indirectes" liées aux améliorations prévues;
2) l'évaluation des coûts d'immobilisation;
3) une analyse "coûts–avantages";
4) une évaluation des répercussions probables des améliorations sur la performance des autres éléments composants et systèmes du bâtiment.

2.1.1 Méthode de calcul des économies d'énergie "directes" et "indirectes"

En gardant en tête l'idée d'"économie", il est souhaitable que le niveau de détail des calculs et le temps qui seront consacrés aux économies d'énergie soient proportionnels au prix réel des améliorations et au degré de précision requis.

Le coût actuel des analyses doit évidemment être inférieur au coût actuel des améliorations prévues, sinon il serait plus logique de procéder aux améliorations sans même faire l'analyse. Évidemment, si on décide de faire des améliorations on est en droit de s'attendre à en tirer des avantages. En termes clairs, on peut dire par exemple que l'installation d'une minuterie de $50.00 ne justifie pas que l'on passe 1/2 journée à évaluer les économies d'énergie possibles.

Des méthodes empiriques et des méthodes simples d'évaluation peuvent également être utilisées dans le cas d'éléments dont le coût est peu élevé et dont la période de recouvrement de l'investissement initial ("payback") est courte. Dans ces cas, une imprécision dans les estimations ne pourrait pas compromettre le bien–fondé de l'exécution des travaux prévus. Prenons l'exemple d'améliorations dont la période de recouvrement a été établie à six mois ; le fait d'avoir surestimé de 100 % les avantages (c'est–à–dire que la vraie période de recouvrement serait de un an) ne saurait dans la plupart des cas, modifier la décision d'aller de l'avant avec les travaux.

Lorsqu'on prévoit des coûts d'immobilisation importants ou de faibles avantages économiques, il est bien évident qu'une estimation approfondie des économies d'énergie possibles est nécessaire, même si "approfondie" ne signifie pas nécessairement la réalisation de modèles informatiques détaillés du bâtiment entier. Au moment de faire ces calculs, il est important de prendre en considération les effets de changements énergétiques "directs" et "indirects" ainsi que les effets liés à une combinaison d'améliorations lesquels sont souvent inférieurs à la somme de ceux obtenus à la suite d'améliorations apportées séparément à des éléments distincts.

L'expression "EFFET DIRECT" signifie l'effet observé sur la pièce d'équipement modifiée elle–même, par exemple, l'amélioration de la consommation électrique d'énergie d'un réseau d'éclairage après la suppression sélective d'un certain nombre de lampes.

L'expression "EFFET INDIRECT" s'applique aux effets que produisent sur les autres pièces d'équipement les modifications apportées à une pièce ou un élément en particulier. Pour poursuivre l'exemple précédent, "l'effet indirect" produit par

l'enlèvement sélectif d'un certain nombre de lampes pourrait être une hausse de la charge de chauffage ou une réduction de la charge de refroidissement. Cet effet indirect peut être observé sur la même source d'énergie que celle alimentant la pièce d'équipement sur laquelle l'effet direct a été noté ou sur une autre source d'énergie.

Les calculs liés aux "effets indirects" sont inévitablement plus difficiles à réaliser et de nature plus approximative que ceux associés aux "effets directs". Il est souvent souhaitable d'avoir recours à des modèles informatiques horaires détaillés, lesquels peuvent tenir compte des interactions avec plus de précision.

On peut encore justifier le recours à l'ordinateur plutôt qu'aux méthodes manuelles dans les cas où un grand nombre d'améliorations doivent être évaluées, plus spécialement si elles doivent l'être selon diverses combinaisons ou dans un certain ordre de réalisation (voir 2.1.3.1 ci-après). Une telle analyse est presque toujours jugée nécessaire lorsque des changements majeurs sont envisagés, tel le remplacement d'un système.

2.1.2 Méthode de calcul des coûts d'immobilisation

On peut avoir recours aux techniques habituelles d'évaluation pour calculer les coûts d'immobilisation liés aux améliorations prévues.

2.1.3 Analyse coûts-avantages

N'importe quel paramètre économique standard comme, par exemple, la "période de recouvrement" ("simple payback") ou le "taux interne de remboursement" ("Internal Rate of Return") peut être utilisé pour faire les calculs nécessaires dans le cas de chacune des améliorations à apporter ou de chaque groupe d'améliorations, et peut également servir de base au calcul du rapport coûts-avantages. (Voir l'annexe à la section 5.4 où ces paramètres économiques sont présentés).

Pour exécuter ces calculs, il faut prendre en considération plusieurs aspects importants notamment ceux qui sont décrits ci-après.

2.1.3.1 Ordre de réalisation des améliorations

On peut voir l'ordre de réalisation des améliorations sous plusieurs angles. Naturellement, il est logique de procéder d'abord aux travaux qui impliquent des coûts minimes tels ceux touchant les modes d'exploitation ou les travaux mineurs d'entretien. Toutefois, pour ce qui est des autres cas, le propriétaire du bâtiment doit décider quel sera l'ordre dans lequel les mesures seront mises en application. Plusieurs éléments peuvent lui dicter un ordre donné plutôt qu'un autre, notamment la disponibilité des fonds destinés aux améliorations ainsi que les programmes établis de travaux d'entretien et d'opérations de remise à neuf. Il peut vouloir procéder suivant une des façons énumérées ci-après:

i) Établissement du calendrier des améliorations de façon à effectuer les changements dans l'ordre suivant: d'abord celles qui touchent aux charges, aux unités terminales, aux systèmes de distribution et puis finalement celles qui visent la centrale des installations. Il s'agit là d'un ordre logique puisqu'il est souhaitable de modifier à la baisse la puissance de production calorifique d'une chaudière qu'une fois les autres charges ramenées au minimum;

ii) Mise en application des mesures en ordre croissant basé sur les périodes de recouvrement, les coûts d'immobilisation ou le "facteur de recouvrement" (voir dans Annexes à la section 5.4);

iii) Utilisation des économies d'argent réalisées grâce à la réduction de la consommation d'énergie pour défrayer des travaux exigeant des frais de premier établissement;

iv) Combinaison des améliorations à d'autres travaux d'entretien ou de remises à neuf. Par exemple, il est difficile de justifier des travaux d'isolation du toit lorsque ces derniers exigent l'enlèvement des matériaux de la couverture; par contre, le fait d'exécuter ces travaux d'isolation du toit au moment où les matériaux de la couverture doivent être remplacés, peut constituer une mesure d'économie d'énergie ("ECO") possible très rentable vu le coût peu élevé d'ajouter de l'isolant par rapport au coût du reste des travaux.

2.1.3.2 Durée de vie des améliorations et coûts d'entretien

La durée de vie et les coûts d'entretien d'une amélioration ont des répercussions sur l'efficacité du coût associée à une amélioration en particulier. Il est bien évident que deux solutions jugées équivalentes du point de vue des coûts d'immobilisation et de la période de recouvrement ne le sont plus dès qu'une des deux a une durée de vie plus longue et/ou présente des coûts d'entretien moins élevés que l'autre.

2.1.4 L'impact d'une amélioration donnée sur la performance d'autres secteurs de consommation du bâtiment

Un bâtiment peut être considéré comme une machine très complexe et le fait de modifier un élément de cette machine aura sans aucun doute des répercussions sur un autre élément de la machine. La répercussion peut présenter des avantages et peut même être considérée comme un "cas avantageux" ou au contraire être jugée préjudiciable à l'exploitation, au contrôle ou à l'intégrité du bâtiment, c'est-à-dire avoir un "effet nuisible". Il arrive souvent que de telles répercussions ne soient pas prévues, spécialement dans les cas où on a eu recours à de nouvelles techniques ou à de nouveaux matériaux ou encore dans les cas où les changements envisagés n'ont pas été revus par une équipe multidisciplinaire.

Idéalement, chaque amélioration prévue devrait être examinée par tous les membres de l'équipe de l'évaluation du rendement des bâtiments afin d'établir l'effet qu'elle produira sur l'ensemble du bâtiment. La section 5.3 des annexes, présente un répertoire des interactions possibles, lequel peut être utilisé lorsqu'il est impossible de procéder de cette façon. Dans un cas comme dans l'autre, ce catalogue pourra servir de listes de vérification.

2.2 LIMITES DES TECHNIQUES D'ÉVALUATION

Le degré de précision de l'évaluation des améliorations prévues est principalement lié au temps investi. Comme nous l'avons dit précédemment, dans les cas où les avantages économiques sont très bons, il est souhaitable de réduire le temps consacré à l'évaluation. Dans les cas où une évaluation est particulièrement difficile à réaliser,

peut-être en raison des possibilités réduites de modélisation ou des incertitudes liées à la performance d'une nouvelle pièce d'équipement, les prédictions seront sûrement composées d'un certain degré d'incertitude. Dans de telles circonstances, on pourra utiliser la même méthode que celle utilisée pour estimer le risque économique présenté par certains autres types d'investissements.

3. MÉTHODOLOGIE

3.1 ÉTAPE I – ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE (INTRODUCTION)

Le type de renseignements requis peut varier grandement selon les améliorations à évaluer et la méthode d'analyse particulière utilisée.

Les données peuvent avoir été enregistrées et résumées au cours des étapes précédentes de l'évaluation (évaluation globale, évaluation des secteurs de consommation et évaluation des installations et systèmes). Souvent même il sera nécessaire de retourner à une de ces étapes pour obtenir des renseignements additionnels par l'intermédiaire d'une ou de plusieurs techniques préconisées telles l'analyse des documents et archives, l'inspection sur place ou les questionnaires.

3.2 ÉTAPE II – TECHNIQUES SIMPLES DE MESURE

3.2.1 Description des techniques

Sont classifiées comme techniques simples de mesure, celles qui peuvent être facilement appliquées manuellement. Il s'agit là d'une classification plutôt arbitraire puisque le fait qu'une méthode puisse être appliquée manuellement ne la rend pas obligatoirement plus simple à utiliser qu'une méthode informatique. Une autre classification comprendrait les techniques faciles à utiliser, soit celles qui servent à mesurer un flux énergétique simple représenté par un modèle partiel du bâtiment et ne tenant pas compte des interactions. Donc, si on utilise ces "méthodes simples" il faudra calculer les interactions séparément à l'aide d'un autre modèle partiel (technique simple).

Sur le plan purement pratique, pour ce qui est de la vérification de la consommation d'énergie, ces deux méthodes de classification des techniques simples de mesure sont souvent utilisées parallèlement. Aux fins du présent document, l'expression "techniques simples" s'applique aux méthodes de mesure qui sont généralement des méthodes manuelles et qui ne visent pas l'ensemble des flux énergétiques du bâtiment ni le détail de chacun d'eux.

Vous trouverez ci-après des précisions concernant l'analyse des économies d'énergie.

3.2.2 Équipement

Aucun matériel particulier n'est requis.

3.2.3 Démarche détaillée

La gamme des techniques existantes est tellement étendue, allant des plus simples aux plus complexes et détaillées, qu'il est impossible de les traiter toutes dans le présent document. Il nous faut donc faire référence aux ouvrages utilisés couramment en ingénierie tels les manuels de l'ASHRAE ou à ceux référés à la fin du présent document (plus particulièrement les références 8 à 11).

Règle générale, toutefois, on peut dire qu'il existe deux approches principales; la première consiste à calculer les économies d'énergie probables en faisant la différence entre la consommation d'énergie selon le mode d'exploitation actuel et celle selon le mode proposé, et la deuxième, pour sa part, consiste à calculer directement les économies d'énergie.

Dans le premier cas, il est nécessaire de réaliser un modèle simple de la situation actuelle et de modifier par la suite les paramètres de façon à illustrer les changements prévus. Cette méthode offre le bénéfice de vérifier la précision du modèle en comparant les résultats de l'expérience de modélisation aux données réelles enregistrées ou aux relevés des services d'utilité publique ou même encore aux données obtenues par répartition des secteurs de consommation (voir le document intitulé "Évaluation des secteurs de consommation" D03.2). La comparaison entre les résultats de modélisation ne donne pas nécessairement une garantie quant à l'exactitude du modèle mais elle contribue à établir un certain degré de confiance. Pour procéder à l'analyse de cette façon, il est important que le même modèle serve à représenter la situation "avant" et "après" les changements. Si deux modèles distincts sont utilisés il est possible que les différences de consommation prévues soient, le résultat en partie d'imprécisions contenues dans les modèles mêmes.

Dans le cas de la deuxième méthode, il n'existe aucun moyen de vérifier par comparaison le degré de précision des prévisions. Dans bien des applications, cette limite n'a que peu d'importance, par exemple si l'on désire évaluer les économies d'énergie directes réalisées par l'arrêt périodique d'un ventilateur au lieu de le laisser fonctionner continuellement.

En ce qui concerne toutes les techniques simples d'analyse, il est très important de prendre séparément en considération les "effets indirects" (consommation d'énergie) puisque les méthodes simples en tiennent rarement compte. Par exemple, plusieurs publications traitant des économies d'énergie possibles grâce à la suppression d'un certain nombre d'appareils d'éclairage présentent un modèle simple où le total des économies est obtenu par la multiplication de la puissance des appareils enlevés par le temps normal d'utilisation de l'éclairage. Ce n'est pas là la situation réelle: le calcul des économies d'énergie possibles doit tenir compte des changements dans les besoins de chauffage et de refroidissement découlant de la suppression d'appareils d'éclairage.

3.2.4 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Le temps requis aux fins d'analyse dépend entièrement du nombre et du type d'améliorations à évaluer. S'il faut étudier un grand nombre d'améliorations, et plus particulièrement si celles-ci sont coûteuses, il est préférable d'utiliser les techniques d'analyse complexes décrites en 3.3.

3.2.5 Documentation: établissement et classement des documents de travail

Tous les calculs doivent être enregistrés. Ils doivent être également classés et toutes assomptions faites clairement énoncées.

3.3 ÉTAPE III - MONITORAGE DÉTAILLÉ ET SPÉCIALISÉ

3.3.1 Description des techniques

Par rapport à la définition déjà donnée des "techniques simples de mesure", on peut dire que les techniques complexes font règle générale appel à des modèles informatiques détaillés capables, dans la majorité des cas, de fabriquer un modèle à l'image du bâtiment entier de façon que les interactions entre les systèmes soient prises en considération automatiquement.

3.3.2 Équipement

On aura besoin de logiciels et d'un ordinateur. Il existe sur le marché plusieurs centaines de logiciels permettant l'analyse de la consommation d'énergie mais tous ne permettent pas au modèle de posséder la série complète des facilités offertes par le bâtiment. Pour ce qui est de la modélisation de grands bâtiments, un certain nombre de programmes se distinguent des autres en ce qu'ils correspondent vraiment à ce type d'analyse (par exemple, DOE, BLAST et APEO/ESP).

3.3.3 Démarche détaillée

Grâce à ces techniques détaillées, on peut calculer les économies d'énergie possibles en comparant les estimations de consommation d'un modèle représentant la situation actuelle avec celles d'un modèle représentant le bâtiment doté d'une ou de plusieurs des améliorations prévues.

Afin d'augmenter le degré de fiabilité du modèle développé, il est très important de comparer les prévisions associées au modèle original avec les relevés de consommation d'énergie existants. Cette opération visant les consommations globales doit être faite sur une base mensuelle ou hebdomadaire en comparant la consommation prévue des divers secteurs de consommation d'énergie dans le cas du modèle, à la consommation réelle relevée sur place (voir le document intitulé "Évaluation des secteurs de consommation" D05).

3.3.4 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Le temps requis dépend grandement du type de logiciel choisi, de l'expérience de l'analyste, du degré de complexité du bâtiment, du niveau de précision du modèle et du nombre de solutions à évaluer.

3.3.5 Documentation: établissement et classement des documents de travail

Toutes les fiches de données d'entrée et de sortie ainsi que toutes comparaisons avec les données de services et de répartition énergétiques doivent être enregistrées.

4. RÉFÉRENCES

1. **ASHRAE Fundamentals**. Chapitre 28, 1985.

2. Cane, R.L.D. **A Modified Bin Method for Estimating Annual Heating Requirements for Air Source Heat Pumps**. ASHRAE Journal, septembre 1979, pp. 60–63.

3. Barakat, S.A. et Sander, D.M. **Utilisation des apports solaires par les fenêtres pour le chauffage des maisons**. Conseil national de recherches Canada, Note d'information de recherche sur le bâtiment (No 184), Ottawa, mars 1982.

4. Barakat, S.A. et Sander, D.M. **A Simple Method for Determining the Heating Requirements of Direct-Gain Passive Solar Houses**. Conseil national de recherches Canada, Note d'informatin de recherche sur le bâtiment (No 195), Ottawa, septembre 1982.

5. Mitalas, G.P. et Stephenson, D.G. **Cooling Load Calculation by Thermal Response Factor Method**. ASHRAE Transactions, Vol. 73, partie II, 1967, page 111.1.1.

6. Mitalas, G.P. et Stephenson, D.G. **Room Thermal Response Factors**. ASHRAE Transactions, Vol. 73, partie II, 1967, page 111.2.1.

7. Cumali, Z.O., Sullivan, R. et Nazaki, S. **Thermal Load and Computer Simulation Run Time Comparisons Using a Research Version of DOE-2**. ASHRAE Transactions, Vol. 88, partie 2, 1982.

8. Dubin, F.S. **Guidelines for Saving Energy in Existing Building**. Engineers, Architects and Operators Manuals ECM2 – USFEA, Report No. FEA/D–75/358, 16 juin 1975.

9. Government Institutes Inc. **Energy Audits Manual**. Rockville, MD., mars 1984.

10. Wendes Engineering & Contracting Services. **Energy Retrofit Savings Made Easy**.

11. The Swedish Council for Building Research. **Energy Audit Sourcebook Report from IEA Task XI**. (Pour publication ultérieure.)

Une bonne partie du texte anglais présenté sous la rubrique "Information de base" a été tirée du rapport intitulé "Computer Programs for Passive Solar Residential Design" rédigé par Leslie Jones & Associates et publié par le Conseil national de recherches Canada (publication n° 24686).

5. ANNEXES

5.1 TERMES ET UNITÉS STANDARDS DE MESURE

Amélioration Changement matériel apporté à un élément composant, à une pièce d'équipement ou à un système du bâtiment.

Modèle de simulation Modèle qui permet de calculer (prévoir) la consommation d'énergie d'un bâtiment pourvu que soient connues les caractéristiques et l'usage du bâtiment, les caractéristiques de ses éléments composants et les données climatiques applicables à la région concernée.

Méthode de groupement des valeurs de calcul Se reporter à l'article 1.2.

Effect direct (consommation) Changements du point de vue de la consommation d'énergie d'une pièce d'équipement ou d'un système résultant d'une modification apportée à cette même pièce d'équipement ou à ce même système.

Effect indirect (consommation) Changements du point de vue de la consommation d'énergie d'une pièce d'équipement ou d'un système résultant d'une modification apportée à une autre pièce d'équipement ou à un autre système.

Cas avantageux Avantage supplémentaire, non relié à la consommation d'énergie, retiré de la réalisation d'une amélioration. Par exemple, une augmentation de la durée de vie d'un moteur électrique due à une diminution de la vitesse ou de la charge.

Effet nuisible Effet nuisible résultant de la mise en oeuvre d'une amélioration. Par exemple, réduction de la durée de vie d'un moteur électrique due à un fonctionnement par courts cycles de démarrage/arrêt.

5.2 AUTORITÉS COMPÉTENTES ET RÉGLEMENTATION APPLICABLE

Toutes les stratégies visant à améliorer l'efficacité énergétique et tous les matériaux utilisés à cette fin doivent être conformes aux règlements, aux normes et codes auxquels on fait référence dans tous les documents d'évaluation du rendement des immeubles.

5.3 RÉPERTOIRE DES INTERACTIONS ENTRE LES DIVERS SYSTÈMES DU BÂTIMENT

5.3.1 Introduction

Le présent annexe décrit la façon dont des modifications apportées à un système du bâtiment, disons par exemple l'enveloppe, peuvent agir sur les autres systèmes. Les interactions ou les cas avantageux qui se produisent dans ce qu'on pourrait appeler un secteur relevant d'une seule discipline, par exemple les effets qu'entraîneraient un changement de débit d'air sur la performance d'un serpentin de refroidissement, n'y sont pas spécifiquement décrits.

5.3.2 Effets des modifications de la charge sur la performance des sous-systèmes

Les améliorations faites en vue de réduire la consommation énergétique et un bon nombre de celles orientées vers l'amélioration de la qualité de l'environnement pour la correction des défectuosités des matériaux, auront pour effet de modifier la charge de chaleur et d'électricité nécessaire aux loçaux et au matériel. Les articles 5.3.3 à 5.3.5 ci-après traitent principalement des améliorations visant à augmenter l'efficacité énergétique. Une des conséquences logiques de tels changements est une diminution de la charge. Ces modifications de charge sont en général considérées comme allant de soi et ne sont pas identifiées explicitement pour chaque amélioration possible; occasionnellement, toutefois, il est fait référence à des modifications de charge dans le texte lorsque celles-ci se produisent dans une discipline autre que la discipline de laquelle relève l'amélioration apportée et qu'autrement elles risqueraient de passer inaperçues.

Il est important de se rappeler les définitions suivantes lorsqu'il faut étudier les effets des améliorations et des modifications de charge qui en découlent:

a) Effets "directs" et "indirects"

Les "effets directs" visent les changements observés dans le cas de l'appareil ou du système qui a subi la modification; par exemple, le changement observé dans la consommation d'énergie électrique d'un réseau d'éclairage une fois que certains appareils ont été supprimés.

Les "effets indirects" visent pour leur part les effets qu'une modification donnée produit sur les autres appareils ou systèmes, et non pas ceux produits sur les appareils ou systèmes qui ont effectivement été modifiés. Les "effets indirects", dans le cas de l'exemple ci-dessus, liés à la suppression sélective d'un certain nombre d'appareils d'éclairage, pourraient être l'augmentation des besoins de chauffage et la diminution des besoins de refroidissement. Ces effets indirects peuvent être observés soit à l'intérieur d'une même discipline ou d'un réseau d'appareils ou systèmes alimentés par une même source d'énergie, ou dans d'autres disciplines ou systèmes consommateurs d'énergie;

b) Charges "de pointe" et charges "saisonnières"

Certaines modifications peuvent avoir des répercussions positives sur les charges de pointe d'un système ou d'un appareil donné, permettant par le fait même de réduire la puissance de l'appareil. Par contre, ces modifications peuvent avoir des répercussions seulement sur les charges saisonnières (c'est-à-dire les charges autres que celles des heures de pointe);

c) Moment de modification des charges

Le moment actuel des changements de charge est particulièrement important dans le cas où l'on est concerné par les coïncidances des demandes de pointe en charges pour les appareils et systèmes, et spécialement au moment où le changement affecte une certaine période de la journée ou la demande de pointe

des changements elle-même. Des changements dans les charges saisonnières peuvent également avoir des répercussions sur la durée de la période de fonctionnement d'un appareil ou même sur sa durée de vie, ou entraîner un raccourcissement ou une prolongation des "saisons" de chauffage et de refroidissement;

d) Appareils et systèmes de puissance sous-dimensionnée

Dans les cas où les charges sont augmentées, l'aptitude du matériel existant à maintenir les conditions de confort désirées peut être compromise. À l'inverse cependant, des réductions de charge peuvent permettre à du matériel trop petit de produire des conditions satisfaisantes;

e) Répartition inégale des charges dans une zone

Des changements apportés aux charges dans une partie seulement d'un bâtiment ou d'un système et d'une façon non équivalente dans les autres parties, peut déséquilibrer suffisamment un système pour compromettre les conditions de confort dans une zone ou même dans plusieurs d'entre elles. Cette situation peut nécessiter le rééquilibrage du système et/ou la modification du point de consigne de la régulation du système ou encore la modification des appareils ou du système même.

À la fin de la présente annexe on retrouve dans le tableau 5.3.1 une description des effets particuliers produits par des modifications de charge apportées aux appareils ou systèmes.

5.3.3 Effets produits par des modifications apportées à la qualité de l'environnement

5.3.3.1 Introduction

Les sections qui suivent traitent des changements apportés à la qualité de l'environnement. Bien que les changements apportés aux appareils et aux systèmes actuels assurant la qualité de l'environnement soient décrits séparément sous "Enveloppe du bâtiment, installations mécaniques et électriques", la distinction entre l'environnement et les systèmes n'est pas toujours facile à faire et les lecteurs devraient faire les recoupements nécessaires entre les différents articles de la présente partie du document.

Une diminution de la qualité des services offerts, tels la quantité d'air frais ou le degré d'éclairage, pourra dans la plupart des cas entraîner une baisse de consommation d'énergie, mais également une réduction du degré de satisfaction des occupants. Réciproquement, une amélioration de la qualité de l'environnement résultera, dans la plupart des cas, en une augmentation de la quantité d'énergie consommée.

5.3.3.2 Confort thermique

Voir également l'article 5.3.5.6 intitulé "Installations CVCA et appareils de commande et de régulation".

Il est à noter que les limites aux installations CVCA peuvent empêcher dans une certaine mesure de réaliser certaines des modifications proposées ci-dessous.

a) Diminution du point de consigne pour la température intérieure en hiver durant le chauffage; et en été, une hausse du point de consigne pour le refroidissement.

Effet négatif

i) Dans les cas où le bâtiment comporte des systèmes de récupération de chaleur, le fait de hausser, en hiver, le point de consigne du refroidissement des zones intérieures réduira la quantité de chaleur récupérée servant au chauffage.

b) Abaissement du point de consigne du taux d'humidité en hiver et hausse du point de consigne en été.

Effet positif:

i) En hiver: réduction des problèmes liés à la condensation sur les surfaces froides.

Effet négatif:

i) En hiver: apparition croissante des problèmes liés à l'électricité statique.

5.3.3.3 Qualité de l'air

Voir également l'article 5.3.5.6 intitulé: "Installations CVCA et appareils de commande et de régulation".

a) Réduction des taux de ventilation en périodes de chauffage et de refroidissement (Réduction des taux globaux, taux réglés ou variés suivant les heures d'occupation, contrôleurs de PE (Possibilité d'Économie) installés dans les stationnements souterrains, etc.).

Effets positifs:

i) Réduction des débits d'air (Voir le paragraphe 5.3.5.5 intitulé "Installations usant de conduits d'air");

ii) Augmentation des taux d'humidité en hiver ou réduction de la charge d'humidification (voir également sous "Effets négatifs"). Réduction des charges d'humidification et/ou de déshumidification en été.

Effets négatifs:

i) De très faibles taux de ventilation peuvent résulter en des problèmes reliés à un trop forte humidité en hiver;

ii) Tout changement dans le rapport qui existe entre le débit d'air neuf admis et le débit d'air vicié évacué aura des répercussions sur le taux d'infiltration d'air. La quantité d'air chaud humide traversant l'enveloppe du bâtiment sera plus élevée dans le cas de bâtiments surpressurisés, ce qui pourrait causer des dommages par le gel à l'enveloppe.

b) Réduction du taux d'échappement de production de polluants

Effet positif:

i) Possibilité de réduction du taux de ventilation (voir le premier effet mentionné en .1 ci-dessus). (Voir également l'article visant les ventilateurs).

c) Augmentation d'efficacité de captation des polluants à leur source de production.

Effet positif:

i) Possibilité de réduction du taux de ventilation (voir le premier effet mentionné en .1 ci-dessus). (Voir également l'article visant les ventilateurs.)

5.3.3.4 Confort visuel

a) Visibilité réduite (niveaux d'éclairement plus faibles, contraste de luminance réduit, éblouissement accru, rendu des couleurs moins précis).

Voir l'article 5.3.6.2 visant les systèmes d'éclairage.

Il peut être acceptable de rechercher une diminution de l'éclairement dans certains secteurs où de fait la tâche exige un degré de précision moindre que celui pour lequel le plan de travail a été conçu ou encore que l'éclairage avait été calculé en fonction de la pose de cloisons qui n'ont, effectivement, jamais été montées.

5.3.3.5 Confort auditif

a) Poste de silencieux supplémentaires dans les conduits d'air pour réduire le bruit lié aux installations CVCA.

Effets négatifs:

i) Augmentation de la résistance dans les conduits d'air, ce qui réduit les débits d'air ou demande plus de puissance de la part des ventilateurs;

ii) Il est peut-être souhaitable qu'il y ait un certain bruit de fond pour masquer les conversations et cet "avantage" serait ainsi perdu.

b) Changement de vitrages dans les murs extérieurs afin de réduire la pollution par le bruit dans les locaux (c'est-à-dire le passage de simple vitrage à double vitrage).

Effet positif:

i) Conduction réduite par les fenêtres et diminution des possibilités de condensation. Se reporter à l'article 5.3.4.2 a).

c) Ajout de cloisons insonorisantes (non pas par pleine longueur)

Effets négatifs:

i) Les cloisons peuvent nuire à la circulation de l'air, ce qui peut entraîner des problèmes quant à la qualité de l'air ou au confort de l'ambiance thermique;

ii) elles peuvent nuire à l'éclairement (lumière du jour et/ou éclairage naturel);

iii) elles peuvent entraver la vue vers l'extérieur par les fenêtres;
iv) elles peuvent nuire au repérage des sorties d'urgence ou à l'accès à ces dernières;
v) elles peuvent empêcher d'entendre clairement les signaux d'alarme–incendie.

d) Ajout de cloisons allant d'une dalle à l'autre

Effet positif:
i) ces cloisons peuvent empêcher la fumée de se répandre par le plénum du plafond.

Effets négatifs:
i) Les cloisons peuvent nuire à la circulation d'air présentant des problèmes pour la qualité de l'air ou le confort thermal;
ii) elles peuvent nuire à l'éclairement (lumière du jour et/ou éclairage naturel);
iii) elles peuvent entraver la vue vers l'extérieur par les fenêtres;
iv) elles peuvent nuire au repérage des sorties d'urgence ou à l'accès à ces dernières;
v) elles peuvent empêcher d'entendre clairement les signaux d'alarme–incendie;
vi) elles peuvent empêcher la circulation de l'air de retour du local dans les cas où le vide de plafond sert de plénum de reprise d'air, et nuire à la libre circulation prévue de l'air de retour.

5.3.4 Effets de modifications apportées à l'enveloppe du bâtiment

5.3.4.1 Introduction

Si on exclut les stratégies axées sur l'amélioration de l'éclairage naturel, c'est–à–dire par la lumière du jour, la plupart des modifications apportées à l'enveloppe entraîneront des réductions de charge. L'impact de ces modifications se fera surtout sentir sur la consommation d'énergie des appareils et systèmes de chauffage et de refroidissement, et on en observera les effets sur la qualité de l'ambiance. Certains effets particuliers sont décrits ci–dessous.

5.3.4.2 Enveloppe

a) Réduction du taux d'infiltration

Effets positifs:
i) réduction/élimination des courants d'air froid, amélioration des conditions de confort;
ii) réduction du taux humidité en été et augmentation en hiver.

Effets négatifs:
i) diminution possible de la qualité de l'air (apport plus faible d'air extérieur);
ii) des taux d'infiltration très faibles peuvent créer des problèmes d'humidité élevée en hiver;
iii) mauvaise ventilation des feux de foyer et des fournaises.

b) Réduction de la conduction

Effet positif:

i) Augmentation de la température superficielle des murs en hiver, ce qui améliore le confort physiologique des occupants.

c) Diminution de la dimension des fenêtres et/ou enlèvement de fenêtres

Effets positifs:

i) augmentation de la température rayonnante moyenne, ce qui améliore le confort physiologique des occupants;
ii) Réduction des courants d'air froid (induits par les fenêtres);
iii) Amélioration possible du confort visuel (réduction de l'éblouissement);
iv) Réduction possible de la transmission des bruits provenant de l'extérieur;
v) Augmentation des niveaux d'éclairement des appareils d'éclairage (augmentation de la lumière réfléchie).

Effets négatifs:

i) Réduction possible de la qualité de la vision;
ii) Réduction de l'apport de la lumière du jour (éclairage naturel);
iii) Perte possible de confort visuel;
iv) Perte d'apports solaires utiles (c'est-à-dire apports de chaleur au système de chauffage très importants dans le cas des façades orientées entre Sud-Est (SE) et Sud-ouest (SW).

d) Habillage des fenêtres – Stores et Pare-soleil

Effets positifs:

i) Protection contre le rayonnement direct améliorant le confort visuel et thermique;
ii) Augmentation possible de la composante "artificielle" du niveau d'éclairement (lumière réfléchie par les stores.)

Effets négatifs:

i) Perte de possibilité d'éclairage par la lumière du jour;
ii) Perte possible des apports solaires utiles;
iii) Perte possible de vision causée par certains pare-soleil.

e) Ouverture des fenêtres – Ventilation naturelle

Effets positifs:

i) Élimination de l'utilisation du système de conditionnement d'air durant certaines périodes;
ii) Amélioration du confort en l'absence de conditionnement d'air;
iii) Amélioration de la qualité de l'air (plus d'air neuf);
iv) Réduction possible du bruit provenant du matériel de ventilation mécanique.

Effet négatif:

i) Augmentation de la pollution par les bruits provenant de l'extérieur.

Il faut bien remarquer qu'un mauvais usage des ouvrants des fenêtres ou un taux d'infiltration accru peuvent quelquefois annuler les avantages prévus.

5.3.5 Effets des modifications apportées aux éléments composants des systèmes mécaniques

5.3.5.1 Introduction

Les modifications apportées au matériel mécanique sont présentées ici sous un certain nombre de sous-titres représentant les trois procédés nécessaires à la production de conditions de confort d'ambiance, soit la production (chauffage et refroidissement), la distribution, et enfin la régulation des installations de chauffage, de refroidissement et de ventilation. Étant donné que ces trois procédés relèvent uniquement des ingénieurs en installations CVCA, les interactions qui existent entre eux, bien que nombreuses et importantes, ne sont pas mentionnées puisque l'objectif du présent document est de décrire les interactions entre des disciplines et non celles se produisant à l'intérieur de ces dernières.

L'ingénieur en mécanique doit être particulièrement conscient des répercussions que les modifications apportées aux installations mécaniques ont souvent sur l'utilisation ou la charge de l'équipement électrique, tels les appareils électriques de chauffage, les refroidisseurs et les moteurs de ventilateur et de pompe.

5.3.5.2 Centrale de chauffage

Dans le cas de la plupart des installations importantes dont le réglage de la puissance calorifique ne dépend pas directement du thermostat d'ambiance, des modifications apportées à l'installation de chauffage n'ont que quelques petits effets secondaires sur les installations autres que les installations mécaniques.

a) Déplacement du point de consigne de la température d'exploitation de la chaudière en fonction de la demande en chauffage

(Il s'agit là d'une option ou même d'une mesure complémentaire par rapport à l'utilisation d'un robinet mélangeur à trois voies.)

Effet positif:

i) Amélioration de la régulation et, par là, du confort thermique par rapport à un système de distribution à température fixe.

Effet négatif:

i) Une mauvaise programmation/régulation peut entraîner l'incapacité de la chaudière à fournir une quantité insuffisante de chaleur aux unités terminales.

b) Utilisation d'une pompe à chaleur (à air chaud)

Effet négatif:

i) Augmentation de la pollution extérieure par le bruit pouvant mener à la création d'un environnement intérieur plus bruyant.

5.3.5.3 Centrale de refroidissement

Comme dans le cas de la centrale de chauffage, des modifications apportées à la centrale de refroidissement n'ont que très peu d'effet sur les autres disciplines exception faite de l'impact qu'elles ont sur la consommation d'énergie électrique.

a) Déplacement du point de consigne de la température de l'eau du refroidisseur en fonction de la demande en refroidissement.

Effet positif:

i) Meilleure régulation et par là confort thermique accru (économies réalisées grâce à une plage plus étroite de température d'exploitation).

Effet négatif:

i) Moins de chaleur latente extraite, ce qui peut entraîner une augmentation du taux d'humidité du lieu.

5.3.5.4 Installations usant de tuyauteries

a) Augmentation du calorifuge

Effet négatif:

i) Cette mesure peut nuire au confort thermique dans la mesure où les pertes de chaleur par les tuyaux contribuent au chauffage d'ambiance.

b) Arrêt des pompes lorsque non requis

Effet positif:

i) Diminution des charges d'électricité.

c) Réparation des fuites

Effets positifs:

i) Diminution des risques de dommages causés aux matériaux du bâtiment;

ii) Diminution des coûts d'alimentation en eau et de traitement de l'eau.

d) Équilibrage du réseau

Effet positif:

i) Augmentation du confort thermique grâce à une meilleure régulation par zone.

e) Réduction de la résistance à l'écoulement

Effet négatif:

i) Augmentation des charges d'électricité à moins que la puissance de la pompe ne soit ajustée en conséquence.

f) Réduction des débits

Effet négatif:

i) Surdimensionnement des moteurs ayant pour résultat la baisse du facteur de puissance.

5.3.5.5 Installations usant de conduits d'air

a) Arrêt des ventilateurs lorsque non requis

Effet négatif:

i) Changement de niveau sonore entre les moments d'arrêt et de marche des ventilateurs peut déranger plus que le bruit de fond causé par le fonctionnement continu.

b) Équilibrage du système

Effet positif:

i) Cette mesure devrait augmenter le degré de confort thermique.

c) Réduction de la résistance due à la circulation d'air

Effet négatif:

i) Augmentation des charges d'électricité à moins que la puissance du ventilateur ne soit ajustée en conséquence.

d) Réduction des vitesses de débit d'air

Effets négatifs:

i) Cette mesure peut nuire à la circulation de l'air et modifier à la baisse le degré de confort et/ou la qualité de l'air;

ii) Diminution de la charge des moteurs ayant pour résultat la baisse du facteur de puissance et la baisse de l'efficacité du fonctionnement du moteur à faible charge.

e) Nettoyage/remplacement des filtres

Effet positif:

i) Réduction de la quantité des grosses particules circulant dans les locaux à climatiser.

5.3.5.6 Installations CVCA et appareils de commande et de régulation

a) Programmes d'abaissement des points de consigne (température, humidité, ventilation, air)

Effets négatifs:

i) Les surfaces froides peuvent nuire au confort une fois que la température de l'air ambiant a atteint le point de consigne abaissé;

ii) Ces mesures peuvent entraîner une augmentation de la demande en charges (facture globale) des systèmes de chauffage électrique.

iii) Manque d'humidification pouvant causer des dommages aux éléments particulièrement sensibles tels le mobilier raffiné, les pièces de musée, etc.;

iv) Manque de ventilation pouvant entraîner l'accumulation de polluants compromettant ainsi la qualité de l'air durant les premières heures d'occupation du bâtiment;

v) Possibilité accrue de condensation sur les surfaces froides de la pièce;

vi) Possibilité de dommages causés par le gel résultant des basses températures de consigne du programme d'abaissement nocturne.

b) Réglage de la température des fluides primaires de chauffage et de refroidissement en fonction des conditions extérieures (température, avec ou sans compensation par l'ensoleillement et/ou par le vent).

Effet positif:

i) Meilleure régulation de la température des locaux chauffés ou refroidis (moins grandes fluctuations de température).

c) Augmentation des écarts de température de l'air de soufflage

Effet négatif:

i) La réduction des volumes d'air peut nuire à la circulation de l'air, et en conséquence au confort d'ambiance et/ou à la qualité de l'air.

d) Systèmes à volume d'air variable

Effet positif:

i) Augmentation de la durée de vie des moteurs électriques (en plus de celle de certains équipements mécaniques).

Effet négatif:

i) Ces systèmes, s'ils fonctionnent sous des volumes d'air minimaux, peuvent compromettre une bonne circulation de l'air et, en conséquence, au confort thermique et à la qualité de l'air.

e) Prévention des fuites dans les valves de commande en position fermée

Effet positif:

i) Réduction/élimination des conditions de surchauffage et de refroidissement.

f) Régulation d'un hygrostat pour piscines intérieures (ventilation)

Effet positif:

i) Un taux d'humidité moyen plus élevé augmente le confort des baigneurs.

Effet négatif:

i) Un taux d'humidité moyen plus élevé peut accentuer la détérioration de certains matériaux.

g) Utilisation de dispositifs empêchant la stratification de l'air dans les locaux de grande hauteur.

Effet positif:

i) Amélioration de la circulation de l'air et en conséquence, du confort thermique et de la qualité de l'air.

h) Économiseurs d'air

Effet positif:

i) Meilleure qualité de l'air durant les périodes de refroidissement gratuit (par comparaison avec les systèmes à débit d'air minimal fixe).

i) Refroidissement par évaporation

Effet négatif:

i) Taux d'humidité plus élevés dans le cas de refroidissement à évaporation directe.

j) Utilisation de thermostats à bande d'insensibilité

Effet négatif

i) Des bandes d'insensibilité trop larges peuvent compromettre le confort des occupants.

k) Remplacement des valves surdimensionnées de commande et régulation de serpentins de grande dimension assurée par une seule valve

Effet positif:

i) Amélioration du degré de confort (économies réalisées grâce à une plage plus étroite de températures d'exploitation).

l) Alimentation en air d'appoint provenant du réseau d'extraction des autres zones (par exemple, soufflage dans le stationnement souterrain de l'air extrait des salles de toilette).

Effet négatif:

i) Cette mesure peut compromettre la qualité de l'air dans le local visé.

m) Hottes d'extraction de vapeur à volume d'air variable

Effets négatifs:

i) Des vitesses faibles d'écoulement à la sortie d'échappement peuvent nuire à la dispersion de l'air vicié, celui-ci pouvant alors être aspiré dans le conduit d'alimentation en air neuf, compromettant ainsi la qualité de l'air à l'intérieur du bâtiment;

ii) Ce type d'installation peut modifier d'une façon peu souhaitable la circulation d'air entre les zones (par exemple, écoulement d'air normal inversé, soit des zones "sales" vers les zones "propres").

n) Déshumidification mécanique des piscines intérieures

Effet positif:

i) Possibilité d'un taux d'humidité plus faible, sans consommation plus importante d'énergie, ce qui réduit la dégradation du matériel causée par un taux d'humidité trop élevé.

Effet négatif:

i) Inconfort plus grand des baigneurs à de faibles taux d'humidité.

o) Récupérateur de chaleur air-air

Effet positif:

i) Amélioration de la qualité de l'air (plus d'air neuf) avec augmentation minime de consommation d'énergie.

Effet négatif:

i) Dans le cas de certains appareils, l'air neuf peut-être contaminé par l'air vicié évacué, au point d'échange.

p) Toiles pour piscines

Effet positif:

i) Réduction des dommages causés par l'humidité grâce à la réduction du taux d'humidité

Effet négatif:

i) La toile doit être retirée et rangée manuellement ou mécaniquement à chaque fois que la piscine est utilisée.

q) Systèmes de chauffage et de refroidissement locaux (pour locaux à faible taux d'occupation)

Effet négatif:

i) Il peut être difficile d'obtenir des conditions de confort élevées.

r) Utilisation d'appareils de chauffage (direct) au gaz

Effet négatif:

i) Les produits de la combustion relâchés dans le local avec l'air de soufflage peuvent diminuer la qualité de l'air. (Note: normalement, de tels systèmes ne doivent servir qu'au chauffage de l'air d'appoint de locaux tels les stationnements souterrains).

5.3.5.7 Eau chaude domestique

a) Réduction de la température de l'eau à la sortie (le point extrême serait d'utiliser de l'eau froide dans le cas de tous les appareils sanitaires)

Effet positif:

i) Réduction des charges (principalement celle due aux pertes de chaleur lorsque la demande est nulle).

Effet négatif:

i) Peut compromettre l'hygiène; on peut utiliser des détergents spéciaux différents. (L'eau à trop basse température ne détruira pas la bactérie du genre legionella, le cas échéant.)

b) Utilisation restreinte des pompes de circulation

Effet négatif:

i) Hausse du temps d'écoulement d'eau avant d'atteindre la température désirée et, par conséquent, plus grande consommation d'eau. Cette mesure peut nuire au procédé hygiénique des installations de lavage automatique.

c) Recours à des installations de stockage de plus grande capacité et au chauffage hors pointe

Effet positif:

i) Réduction de la demande en temps de pointe (applicable aux systèmes de chauffage électriques).

d) Débit d'écoulement d'eau réduit au robinet

Effet négatif:

i) Réduction possible du taux de satisfaction de l'utilisateur (en particulier dans le cas de très faible débit d'alimentation pour les douches).

5.3.6 Effets de modifications apportées aux éléments composants des systèmes électriques

5.3.6.1 Introduction

La plupart des interactions mettant en cause les éléments composants des systèmes électriques découlent habituellement de modifications apportées aux installations mécaniques, bien qu'un certain nombre d'interactions se produisent dans l'autre direction c'est-à-dire qu'elles découlent des modifications apportées aux installations électriques et touchent les installations mécaniques.

Ces interactions sont décrites ci-après. Toutefois, aux termes du présent document, les interactions entre les composants du système d'éclairage électrique et les autres appareils électriques *ne* sont *pas* mentionnées.

5.3.6.2 Systèmes d'éclairage

a) Réduction de l'utilisation de l'éclairage au moyen de dispositifs de mises hors circuit

Effet positif:

i) Réduction des charges de refroidissement.

Effets négatifs:

i) Possibilité de déséquilibre des installations CVCA et de moins bonnes conditions de confort causés par un manque de chauffage et un surrefroidissement dans les diverses aires d'une même zone de régulation thermique qui ont fait l'objet de mises hors circuit d'éclairage disproportionnées d'une aire à l'autre;

ii) Augmentation des charges de chauffage.

b) Réductions de la charge installée pour la ligne électrique

Effet positif:

i) Réduction des charges de refroidissement.

Effets négatifs:

i) Possibilité de déséquilibre des installations CVCA et de moins bonnes conditions de confort si les modifications ne sont pas faites uniformément dans toutes les aires d'une même zone de régulation thermique;

ii) Pour que les économies d'énergie prévues puissent être réalisées, il faudra probablement changer les points de consigne des systèmes, tels la température de l'air primaire;

iii) Augmentation des charges de chauffage.

5.3.6.3 Autres

a) Moteur et alignement de la conduite

Effets positifs:

i) Augmentation de la durée de vie des appareils (mécaniques) entraînés (et de celle du moteur);

ii) Réduction du bruit.

b) Maîtrise de la demande de la charge par la chute de la charge

Effets négatifs:

i) Modification possible des conditions de confort thermique, de la qualité de l'air et de l'environnement sonore (suivant l'équipement utilisé et les périodes d'arrêt). *Les bruits résultant d'un fonctionnement cyclique dérangent plus qu'un bruit continu de même d'intensité;

ii) La maîtrise de la charge au moyen du fonctionnement cyclique de l'équipement peut nuire à la durée de vie des appareils.

c) Régulation de la vitesse des moteurs

Effet positif:

i) Augmentation de la durée de vie des appareils (mécaniques) entraînés, et de celle du moteur.

d) Moteurs plus petits

Effet négatif:

i) Couple de démarrage possiblement insuffisant pour faire accélérer les appareils mécaniques ayant une grande force d'inertie (par exemple, les roues de grands ventilateurs).

APPAREIL		EFFET	AMÉLIORATIONS POSSIBLES (autres que le remplacement)	
Chaudières	i)	Rendement saisonnier plus faible, plus prononcé s'il s'agit de brûleurs non entièrement modulants. Les brûleurs modulants avec affaiblissement limité peuvent fonctionner en mode marche/ arrêt s'ils sont trop surdimensionnés;	i)	Abaisser l'allure de chauffe du brûleur existant ou le remplacer. (Possibilité d'amélioration du rendement de la chaudière vu un rapport plus élevé entre la surface de transfert de chaleur et la puissance à la sortie de la chaudière.);
	ii)	Augmentation de la puissance requise pour accélérer le pré-chauffage.	ii)	Utilisation d'un nombre restreint d'appareils dans le cas d'une centrale à chaudières multiples.
Refroidisseurs	i)	La performance du refroidisseur peut augmenter ou diminuer suivant le type de machine(s) utilisée(s), la méthode de régulation de la puissance choisie et le degré de surdimensionnement des machines;	i)	Modification de la méthode de régulation de la puissance;
	ii)	Augmentation de la puissance des appareils de réserve pour accélérer le pré-refroidissement.	ii)	Utilisation d'un nombre restreint d'appareils dans la cas d'une central à refroidisseurs multiples.
Pompes (Débit trop élevé par rapport à la résistance du réseau)	i)	Gaspillage d'énergie par les pompes: débit plus élevé que celui requis.	i)	Augmenter la résistance du réseau (réglage des valves d'étranglement) en tenant compte de la page d'exploitation de la pompe;
			ii)	Diminuer le diamètre de la roue (de préference à la solution i));
Voir également l'article 5.4 "Installations usant de tuyauteries"			iii)	Abaisser la vitesse de rotation de la pompe (poulies et régulateur de vitesse neufs) (de préference à la solution i)).
Ventilateur (Débit trop élevé par rapport à la résistance du réseau)	i)	Gaspillage d'énergie par les ventilateurs: débit plus élevé que celui requis;	i)	Augmenter la résistance du réseau (réglage des régulateurs) en tenant compte de la plage d'exploitation des ventilateurs;
	ii)	Dans le cas des ventilateurs en mode périodique, possibilité de diminution de la période de fonctionnement.	ii)	Abaisser la vitesse de rotation des ventilateurs en posant de nouvelles poulies ou un nouveau régulateur de vitesse du moteur (de préférence à la solution (i)). La réduction des volumes d'air peut nécessiter la modification des points de consigne du système et/ou nuire à la bonne circulation de l'air dans les locaux.
Voir également l'article 5.5 "Installations usant de conduits d'air"			Note:	Le fait de réduire les volumes d'air entraînera une réduction de la demande d'entraînement du moteur; voir l'article 6.3 "Autres" pour connaître les effets sur les moteurs électriques.

APPAREIL	EFFET	AMÉLIORATIONS POSSIBLES (autres que le remplacement)
Tuyauteries*	i) Réduction des pertes par friction et du bruit; ii) Déperditions/apports de chaleur trop élevés; iii) Vitesses très faibles (si elles sont inférieures à 0.6 m/s, le fluide n'entraînera pas l'air piégé).	i) Sans objet; ii) Augmenter l'épaisseur du calorifuge; iii) Installer des séparateurs d'air.
* En présumant que les débits ont été réduits en fonction des charges nouvellement réduites.		
Conduits d'air* Voir également l'article 5.6 "Appareils de régulations"	i) Réduction des pertes par friction et du bruit. ii) Pertes/apports de chaleur trop élevés.	i) Sans objet; ii) Augmenter l'épaisseur du calorifuge.
* En présumant que les débits ont été réduits en fonction des charges nouvellement réduites.		
Unités terminales de chauffage (y compris les dispositifs de régulation)	i) Régulation moins stable (c'est-à-dire plus grandes fluctuations de température).	i) Utiliser des valves de commande plus petits et/ou abaisser la température du fluide chauffant; ii) Condamner ou enlever une partie de l'unité terminale ou des serpentins composants.
Stockage	i) Réduction possible de la qualité (température utile) du fluide stocké.	i) Installer des déflecteurs pour réduire le mélange du fluide à l'intérieur du réservoir de stockage.
Éclairage*	i) Consommation trop élevée d'électricité pour l'éclairage et apports internes de chaleur trop élevés.	i) Enlèvement sélectif d'appareils d'éclairage, suppression sélective d'ampoules, utilisation de régulateurs pour l'intensité lumineuse et d'ampoules de plus faible puissance.
* L'installation existante assure des niveaux d'éclairement supérieurs à ceux jugés nécessaires.		
Répartition de l'énergie électrique	i) Chutes de voltage plus faibles permettant une meilleure régulation du voltage.	i) Sans objet.
Moteurs	i) Baisse de rendement; ii) Facteur de puissance moins élevé.	i) et ii) Utiliser des régulateurs de facteur de puissance.

Tableau 5.3.1 Effet du surdimensionnement des appareils et des systèmes

5.4 RÉPERTOIRE DES FACTEURS ÉCONOMIQUES

5.4.1 Période de recouvrement simple

On calcule la période de recouvrement simple (années) au moyen de la formule suivante:

$$\frac{\text{Coût des améliorations (\$)}}{\text{Économies annuelles moyennes nettes (\$/an)}}$$

Les économies annuelles moyennes nettes sont égales à la valeur en dollars des économies réalisées du point de vue de la consommation de combustible, à laquelle il faut ajouter ou soustraire, selon le cas, tout changement dans les coûts d'entretien découlant de l'amélioration à l'étude.

Avantage:

i) Facilité d'évaluation et simple à comprendre:

Inconvénients:

i) Ne tient pas compte du coût réel des améliorations (c'est-à-dire du coût d'investissement);

ii) Ne tient pas compte des répercussions de l'escalade des prix, surtout dans le cas du combustible;

iii) Ne tient pas compte de la durée de vie prévue des améliorations ni de leur performance après la période de recouvrement. (Deux améliorations ayant la même période de recouvrement ne peuvent être considérées d'égale valeur si leur durée de vie est différente).

5.4.2 Facteur de recouvrement

On utilise la formule suivante pour calculer le facteur de recouvrement:

$$\frac{C}{E} \times \frac{AVL_I}{AVL_a}$$

C = coûts d'immobilisation de l'amélioration ($)
E = économies d'énergie sur une base annuelle ($/an)
AVL = durée de vie utile moyenne des appareils
I = la plus longue durée de vie observée dans le cas de toutes les améliorations étudiées
a = durée de vie utile réelle de l'amélioration faisant l'objet de l'étude.

L'amélioration présentant le plus d'avantages sera celle dont le facteur de recouvrement est le plus bas.

Avantage:

Cette formule tient compte de la durée de vie de l'amélioration à l'étude et permet la comparaison des données avec celles d'autres améliorations étudiées.

Inconvénients:

i) Ne tient pas compte de la valeur réelle de l'amélioration (c'est-à-dire du coût d'investissement);

ii) Ne tient pas compte des répercussions de l'escalade des prix, surtout en ce qui concerne le prix du combustible.

5.4.3 Temps de recouvrement escompté

On obtient le temps de recourvrement escompté actualisé (années) au moyen de la formule suivante:

$$\frac{1}{\log_n R} \cdot \log_n \left[\left(\frac{C}{E} \cdot \frac{(R-1)}{R} \right) + 1 \right]$$

où $R = (1 + j)/(1 + i)$

C = coût d'immobilisation de l'amélioration ($)
E = économies d'énergie sur une base annuelle ($/an)
i = taux d'intérêt courant sur le capital emprunté
j = taux net d'escalade de l'énergie (c'est-à-dire le taux d'augmentation du coût de l'énergie au-dessus du taux moyen d'inflation)
n = durée de vie prévue de l'amélioration (investissement) (années)

Avantage:

i) Tient compte des taux d'intérêt applicables à l'emprunt de capital et de l'escalade des prix de l'énergie.

Inconvénients:

i) Ne tient pas compte de la durée de vie de l'amélioration et de sa performance une fois la période de recouvrement terminée;
ii) La formule exclut les modifications de prix applicables à l'entretien.

5.4.4 Valeur actualisée

On obtient la valeur actualisée ($) au moyen de la formule suivante:

$$1 + \frac{E \cdot R\,(R^n - 1)}{(R-1)} - \frac{M \cdot P\,(P^n - 1)}{(P-1)}$$

où $R = (1 + j)/(1 + i)$ et $P = (1 + m)/(1 + i)$

E = économies (consommation d'énergie) sur une base annuelle ($/an)
M = frais d'entretien
i = taux d'intérêt courant
j = taux net d'augmentation du prix de l'énergie
m = taux net d'augmentation des frais d'entretien
n = durée de vie prévue de l'amélioration (investissement) (années).

Avantage:

Facteur économique le plus complet donnant une mesure de la valeur totale des avantages économiques virtuels d'un investissement sur toute la durée de vie de l'installation dont il fait l'objet (c'est-à-dire, aussi longtemps que l'amélioration permet de réaliser le même niveau d'économie d'énergie).

Inconvénient:

i) Difficile de prédire avec précision le taux d'inflation.

5.4.5 Taux de remboursement interne (TRI)

On peut obtenir le taux de remboursement interne de la façon suivante:

a) en calculant la valeur de R qui satisfasse la relation suivante:

$$R^{n+1} - R\left(\frac{C}{E} + 1\right) + \frac{I}{E} = 0 \quad \text{et}$$

b) en calculant le TRI au moyen de la formule ci-après:

$$\frac{1 + j}{R} - 1$$

L'investissement est jugé rentable si le TRI est supérieur au taux d'intérêt de l'emprunt.

C = coût d'immobilisation de l'amélioration ($)
E = économies d'énergie sur une base annuelle ($/an)
j = taux net d'augmentation du prix de l'énergie
n = durée de vie prévue de l'amélioration (investissement) (années)

Avantages:

i) Il n'est pas nécessaire de présumer du taux d'intérêt;
ii) Peut servir d'étude comparative entre la valeur d'investissement pour diverses solutions de rechange envisagées.

Inconvénients:

i) Tend à privilégier les investissements à court terme
ii) Les solutions ne sont pas obtenues analytiquement, pour se faire, les équations doivent être analysées numériquement.

5.5 LISTE DE DOCUMENTS ÉVALUANT LE RENDEMENT DES IMMEUBLES

Dans cette série, les documents sont subdivisés en quatre classes différentes. Les documents de classe A donnent des explications à savoir comment utiliser les documents des trois autres classes. La classe B est un répertoire d'essais lequel inclut un index et des références. Les documents de classe C donne un compte rendu des trois domaines d'évaluation et résume les documents de classe D dans leur domaine respectif. Les documents de classe D contiennent une description des attributs du rendement des immeubles et donnent les méthodes pour les évaluer.

	A1	Guide du directeur de projet
	A2	Guide du gérant d'immeuble
	B1	Répertoire d'essais
Relevé	C1	Rendement énergétique et environnemental
	C2	Rendement fonctionnel
	C3	Rendement des systèmes et du matériel
Rendement énergétique et environnemental	D01	Évaluation des polluants
	D02	Migration de la pollution
	D03	Évaluation de l'ambiance thermique
	D04	Évaluation globale: rendement énergétique
	D05	Évaluation des secteurs de consommation: rendement énergétique
	D06	Évaluation des installations et systèmes: rendement énergétique
	D07	Évaluation des améliorations: rendement énergétique
	D08	Évaluation de l'environnement acoustique
	D09	Évaluation de la circulation d'air
	D10	Évaluation de l'éclairage
	D11	Relevé des données atmosphériques
Rendement fonctionnel	D20	Analyse des documents et archives
	D21	Annotation des plans
	D22	Entrevues centrées
	D23	Questionnaires
	D24	Observations
Rendement des systèmes et du matériel	D30	Murs et colonnes structuraux: relevé de la condition
	D31	Dalles et toits structuraux: relevé de la condition
	D32	Garages de stationnement: relevé de la condition
	D33	Évaluation des installations mécaniques
	D34	Évaluation des contrôles mécaniques
	D35	Évaluation des systèmes électriques
	D36	Contrôle de la pression et de l'étanchéité à l'air
	D37	Mesure de la vitesse d'échange d'air extérieur
	D38	Inspections par thermographie de l'enceinte d'un immeuble
	D39	Mesure de la résistance thermique
	D40	Inspections de la teneur en humidité
	D41	Évaluation des systèmes de couvertures